



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

## GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

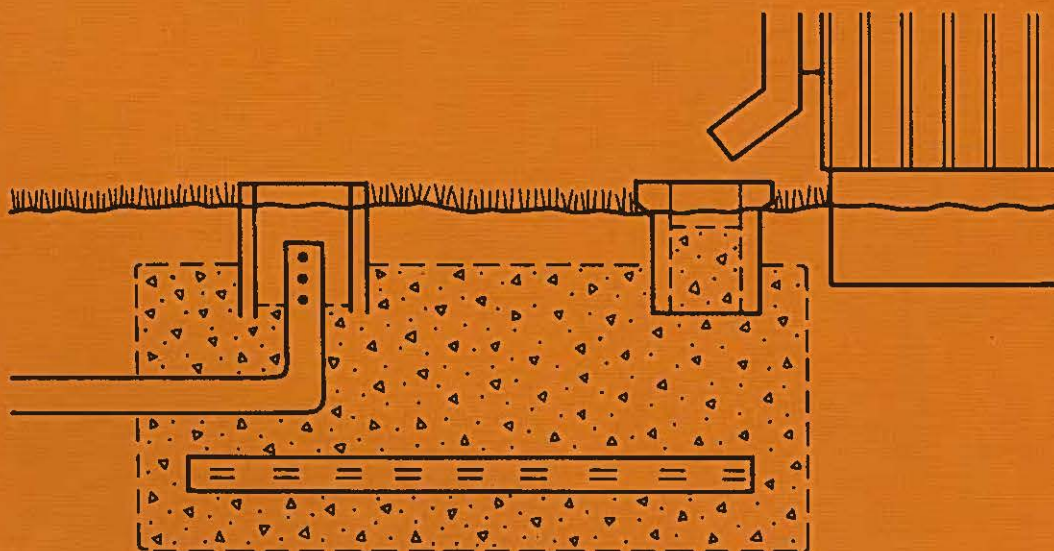
Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347-8165

### PERKOLATIONSMAGASIN I ETT LEROMRÅDE

Lokalt omhändertagande av dagvatten

i Bratthammar



Olov Holmstrand

Bo Lind

Per Lindvall

Lars-Ove Sörman



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

## GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

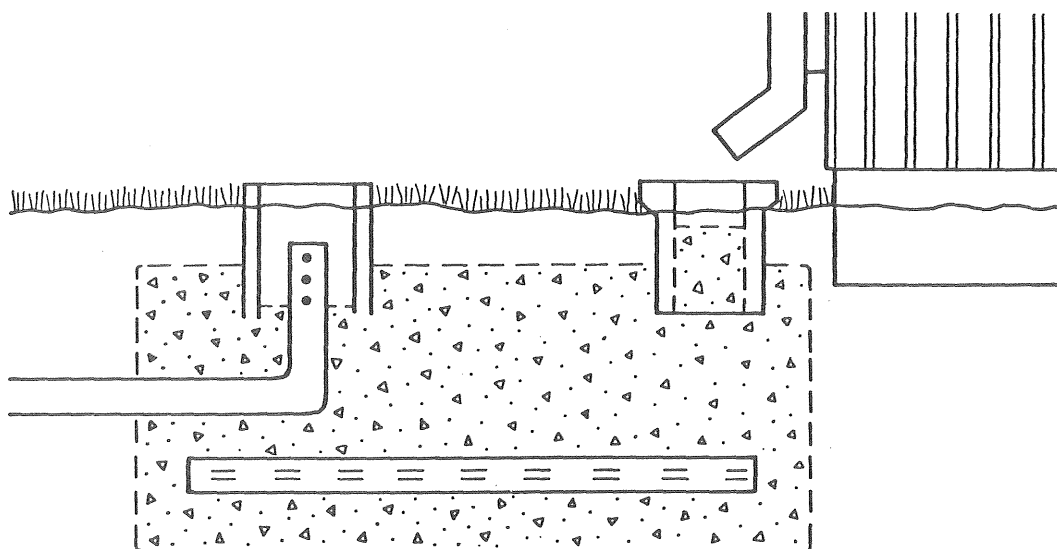
Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347-8165

### PERKOLATIONSMAGASIN I ETT LEROMRÅDE

#### Lokalt omhändertagande av dagvatten i Bratthammar



Adress:  
Chalmers tekniska högskola  
Geohydrologiska forskningsgruppen  
412 96 GÖTEBORG  
Tel: 031/810100

Olov Holmstrand  
Bo Lind  
Per Lindvall  
Lars-Ove Sörman



## FÖRORD

Forskningsprojektet "Lokalt omhändertagande av dagvatten" startades år 1976 inom ramen för Geohydrologiska forskningsgruppens vid CTH verksamhet. Projektet inriktades främst mot att klarlägga förutsättningar för och planering av LOD. Samtidigt inleddes också uppföljningen av anläggningar i drift. De mest omfattande studierna av detta slag genomfördes i Bratthammar, Göteborg.

Föreliggande rapport sammanfattar och utvärderar undersökningarna i Bratthammar. Det insamlade observationsmaterialet är mycket omfattande, varför redovisningen har sovrats och kortats ned. Mätningar, mätresultat och tolkningarna av dessa har samlats i bilagor medan rapportens huvudtext har karaktären av kommentarer och sammanfattningar.

Bilagorna har i huvudsak sammanställts av Bo Lind, Per Lindvall och Lars-Ove Sörman. För den slutliga bearbetningen och utformningen av bilagorna samt utformningen av huvudtexten svarar Olov Holmstrand.

Forskningsarbetet har bedrivits med anslag från Statens råd för byggnadsforskning (BFR). Bratthammarundersökningarna har dessutom erhållit avsevärda anslag från Göteborgs VA-verk, Göteborgs Stads Egnahems AB samt BPA-Riksbyggen.

Göteborg i oktober 1980.

Olov Holmstrand





## FÖRORD

1.	PRESENTATION AV PROJEKTET	1
1.1	LOD-projektet	1
1.2	Bratthammarprojektets bakgrund	1
1.3	Bratthammarprojektet	4
1.4	Problemställning och målsättning	5
2.	BESKRIVNING AV BRATTHAMMAROMRÅDET	6
2.1	Topografi och ursprunglig vegetation	6
2.2	Grundförhållanden	8
2.3	Bebyggelse	10
2.4	Dagvattenhantering	11
3.	PROJEKTETS GENOMFÖRANDE	14
3.1	Undersökningar	14
3.2	Rapportering	16
4.	RESULTAT	18
4.1	Inledning	18
4.2	Områdets förutsättningar	18
4.3	Perkolationsanläggningens funktion	19
4.4	Vattenomsättning	20
5.	FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	24
6.	REFERENSER	25

## BILAGOR

1.	Ingenjörsgelogisk karta	27
2.	Nederbörds-mätningar	35
3.	Magasinsfunktion	49
4.	Sprickvattenmätningar	99
5.	Markvattenmätningar	117
6.	Portryck och sättningsmätning	139
7.	Grundvattenmätningar	159



## 1. PRESENTATION AV PROJEKTET

### 1.1 LOD-projektet

I början av 1970-talet började man bli alltmera medveten om att den "konventionella" dagvattenhanteringen medför problem. Såväl äldre kombinerade avloppssystem som senare utförda duplikatsystem har nackdelar både vad gäller miljöeffekter och kostnader. Detta gjorde att man i stället började pröva olika typer av lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD). Huvudsyftet är då att i största möjliga utsträckning lokalt hålla inne och infiltrera dagvattnet i marken. På så sätt kan man uppnå både ekonomiska och miljömässiga vinster genom att störningarna av den naturliga vattenbalansen minskas.

Forskningsprojektet "Lokalt omhändertagande av dagvatten" vid Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, startades år 1976. Projektet syftade huvudsakligen till att klarlägga förutsättningarna för och effekterna av LOD. Inom ramen för projektet har en rad delundersökningar med skilda syften genomförts. Dessa har i allmänhet redovisats i separata rapporter. Under projektets genomförande framställdes även två översiktliga lägesrapporter (Ericsson, 1977 och Holmstrand, 1978). Resultaten har sammanfattats dels i en slutrapport (Holmstrand, 1980), dels i en brukarinriktad rapport (Holmstrand och Lindvall, 1979).

### 1.2 Bratthammarprojektets bakgrund

Göteborgstrakten erbjuder kraftigt varierande grundförutsättningar för bebyggelsen. I stort kan två extrema förhållanden sägas dominera, dels branta bergryggar, dels dalgångar fyllda med lös och mäktig lera. Den redan genomförda utbyggnaden av Göteborg och kringliggande samhällen har gjort att de från bebyggelsesynpunkt lämpligaste områdena i stort sett är ianspråktagna. Detta förhållande gör att även sämre områden blivit attraktiva för nyexploatering.

De lerfyllda dalgångarna medför många svårigheter vid

byggande, vilket gör kostnaderna höga. Vid dåliga grundförhållanden utgör vanligen grundläggningskostnaden för flervåningshus en mindre andel av totalkostnaden än för småhus. Flervåningshusen kan därför lättare bära kostnaderna för exempelvis stödpålning i lös och mäktig lera. Småhus är vid goda grundvattenförhållanden normalt billiga att grundlägga genom sin ringa tyngd, men är leran tillräckligt lös fordras även här pålning, vilket blir en dryg kostnad. Bland de problem som måste övervägas förutom markens bärighet, när man skall välja grundläggningsmetod, är bland annat risken för grundvattensänkning med påföljande sättningar.

Sydvästra Göteborg med stadsdelarna Tynnered och Näset utgör attraktiva områden för småhusbebyggelse. Dalgångarna upptas emellertid av lös och sättningsskänslig lera. Under senare delen av 1960-talet byggdes här småhus inom området Åkered. Många av husen grundlades på lera utan pålning. Så småningom uppkom sättningar inom området, varvid åtskilliga hus skadades, några så svårt att ägarna måste kompenseras med inlösen av husen. Sättningarna antogs huvudsakligen ha berott på relativt ytlig uttorkning av leran genom bortledning av regnvatten samt utdränering till djupt liggande kulvertar. Däremot hade ingen djupdränering ägt rum till tunnlar eller andra undermarksanläggningar.

När Bratthammarområdet (områdets läge, se figur 1) i närheten av Åkered och med likartade grundförhållanden skulle bebyggas, övervägdes olika möjligheter att förhindra sättningsskador. Under 1970-talets första år hade man börjat tillämpa dagvatteninfiltration i större skala, se exempelvis Paus, Andersson och Carlstedt (1974). Ett av syftena med sådan infiltration var att förhindra sättningar i lerområden. Bratthammar ansågs vara ett lämpligt område att pröva dagvatteninfiltration som metod mot sättningar. Samtidigt beräknades perkolationsmagasinen ge en avsevärd flödesutjämning även om endast små vattenmängder skulle gå ut i marken.





Figur 1. Bratthammarområdets läge i sydvästra Göteborg.

Dagvatteninfiltration som metod var emellertid så ny när Bratthammarområdet projekterades att det ansågs säkrast att dels stödpåla under byggnaderna, dels ansluta området till ett konventionellt dimensionerat yttre dagvattensystem. Dagvatteninfiltrationen i Bratthammar kan därför sägas vara en i full skala utbyggd försöksanläggning. Områdets förutsättningar och perkolationsanläggningens principiella uppbyggnad redovisades kortfattat redan 1973 (Göteborgs Stads Egnahems AB och Svenska Riksbyggen, 1973).

### 1.3 Bratthammarprojektet

Geohydrologiska forskningsgruppen vid CTH utarbetade år 1975 ett ramprogram för forskningsverksamheten under perioden 1976-79. Gruppen uppmanades härvid av anslagsgivaren, Byggforskningsrådet, att ta sig an ämnesområdet lokalt omhändertagande av dagvatten. Samtidigt kontaktades gruppen av intressenterna i Bratthammarområdet med en förfrågan om gruppen kunde åta sig att studera perkolationsanläggningarnas funktion i området. Resultatet blev att gruppens projekt "Lokalt omhändertagande av dagvatten" (LOD) fick som ett väsentligt delmoment uppföljning av perkolationsanläggningarna i Bratthammar. Denna delundersökning fick också särskilda anslag från de lokala intressenterna Göteborgs Stads Egnahems AB, Göteborgs VA-verk och BPA-Riksbyggen.

För LOD-projektet i sin helhet har funnits en referensgrupp, vilken tillsattes på uppdrag av Byggforskningsrådet. I referensgruppen fanns representanter för bl a Statens Naturvårdsverk, Sveriges Geologiska Undersökning och större konsultföretag. Bratthammarprojektet har diskuterats vid referensgruppens sammanträden. Planering och genomförande av forskningsarbetet i Bratthammar har diskuterats mera ingående vid ett antal sammanträden med representanter för forskningsgruppen och övriga intressenter. Följande personer har därvid deltagit från de externa intressenterna:

EHAB: Rolf Kling, Conny Jonsson

VA-verket: Åke Mattsson, Jan Adamsson, Jarl Lönn

BPA-Riksbyggen: Hans Berggren, Sören Eriksson

Projektledare för Geohydrologiska forskningsgruppens arbete var först Klas Cederwall, Institutionen för vattenbyggnad och Per Wedel, Geologiska institutionen, sedan Anders Sjöberg, Institutionen för vattenbyggnad och Olov Holmstrand, Geologiska institutionen. Därutöver har följande personer från forskningsgruppen varit engagerade i väsentlig omfattning:

Geologiska institutionen:	Lars Ericsson Stig Hård Bo Lind Lars-Ove Sörman
Institutionen för vattenbyggnad:	Per Lindvall
Examensarbete i geologi:	Bo Suneson Bengt Thorén
Examensarbete i vattenbyggnad:	Åke von Schantz Anders Wimby

#### 1.4 Problemställning och målsättning

Lokalt omhändertagande av dagvatten som metod tillämpas för att motverka de negativa effekterna av "konventionell" bortledning av dagvatten från hårdgjorda ytor i bebyggda områden. Vanligen brukar LOD motiveras med en eller flera av följande punkter:

- Motverka grundvattensänkning, vilken kan medföra sättnings- och vegetationsskador.
- Ge billigare ledningssystem och därmed lägre investeringskostnader.
- Undvika skador längre ned i ledningssystemen, t ex källaröversvämningar, överbelastning av reningsverk och skador i recipienter.

Bratthammarområdet är ett ganska renodlat exempel på dagvatteninfiltration motiverad med den första punkten. Området har därför bedömts vara mycket lämpligt för studier i vilken mån dagvatteninfiltration verkligen kan motverka sättningar.

En övergripande problemställning för forskningsarbetet i Bratthammar har självfallet varit frågan hur anläggningen fungerar. Denna fråga kan delas upp på i första hand de två huvudmomenten anläggningens tekniska funktion och anläggningens inverkan på områdets vattenbalans. För att problemställningarna skall kunna belysas fordras dels allmän information om förutsättningarna, dels mätdata som belyser olika aspekter av funktionen. Slutligen

fordras en sammanställning och analys av samtliga insamlade fakta.

Målsättningen för projektet kan lämpligen uppdelas på följande huvudpunkter:

- Sammanställning av förutsättningar. I första hand avses med detta områdets allmänna geologiska och geohydrologiska förutsättningar. Härtill kommer de tekniska förutsättningarna i form av bebyggelsens utformning och va-systemets utformning, främst då givetvis anläggningarna för dagvattenhantering.
- Undersökning av dagvattensystemets funktion. För att denna skall kunna klarläggas fordras mätningar av såväl inkommande vatten (nederbörd), avrinnande vatten som vattnets uppträdande i magasinen.
- Dagvatteninfiltrationens konsekvenser för vattenbalansen. Bedömning av vattenbalansen i området fordrar bestämning av en rad olika parametrar. Dessutom fordras helst referensvärden från området före exploateringen och därefter parallella mätningar i ett likartat, opåverkat område.
- Allmängiltiga slutsatser beträffande dagvatteninfiltration. Resultaten från arbetet i Bratthammarområdet bör kunna utnyttjas inom LOD-projektet för att dra allmängiltiga slutsatser om dagvatteninfiltration.

## 2. BESKRIVNING AV BRATTHAMMAROMRÅDET

### 2.1 Topografi och ursprunglig vegetation

Den del av Bratthammarområdet (se figur 2) som omfattats av föreliggande undersökningar utgör en väl avgränsad sänka eller dalgång. Dalgången, som har sin längdutsträckning i nord-syd, är ca 350 m bred och 500 m lång räknat vid dalbottnens anslutning till dalsidorna. Dalsidorna består i öster och väster av nord-sydliga bergryggar. I norr och söder avgränsas dalbotten av mera isolerade



Figur 2. Grundkarta över den del av Bratthammarområdet som omfattats av forskningsprojektet. Göteborgs höjdsystem.



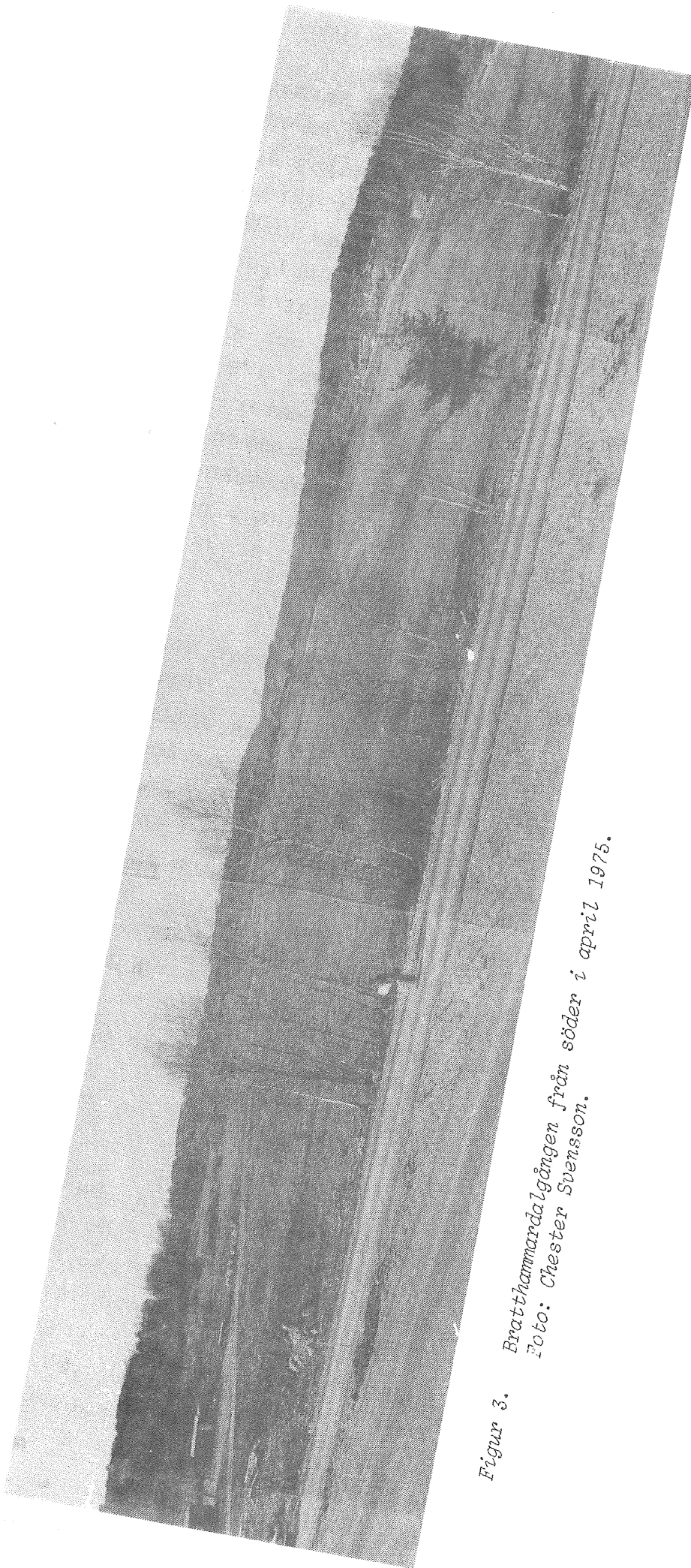
bergkullar. Mellan dessa och de nord-sydliga ryggarna står dalgången i förbindelse med angränsande sänkor via relativt smala pass. Dalgångens botten ligger strax under 15 m ö h. Bergryggarna når upp till 25-40 m ö h.

Dalbotten upptogs före exploateringen av försumpad betesmark. Vissa delar var så blöta att de uppenbarligen ej hade odlats och var bevuxna med buskar och bladvass. I den centrala delen, strax utanför östra dalsidan, fanns stenmurar och vegetation som tydde på att någon eller några byggnader (troligen enkla fritidshus) legat där. Den ursprungliga vegetationen på bergshöjderna utgjordes av busk- och trädvegetation, huvudsakligen enbuskar och lövträd. Områdets utseende omedelbart innan byggnadsarbeten inleddes framgår av figur 3.

## 2.2 Grundförhållanden

Bratthammarområdets geologiska uppbyggnad har tidigare utretts och sammanställts inom ramen för ett examensarbete i geologi vid CTH (Suneson och Thorén, 1977). Till grund för sammanställningen låg dels geotekniska undersökningar genomförda av Bo Alte AB, dels fältkartering i samband med examensarbetet. Den ingenjörsgelogiska kartan med tillhörande sektioner som här redovisas i bilaga 1 har hämtats från examensarbetet.

Berggrunden, vilken består av gnejsig granit (s k Frölunda-granit), går i dagen inom höjdområdena runt dalgången. Tunna jordlager i form av svallgrus och svallsand finns emellertid i sänkor och sprickor, vilket ger förutsättningar för den delvis ganska täta vegetationen. Det kala berget beror dels på ett ursprungligen tunt jordtäckte sedan inlandsisen smälte bort, dels på havets senare svallning. Högsta kustlinjen, dvs den högsta nivå havet nådde efter isens avsmältning, ligger här strax under 100 m ö h. Detta innebär att hela området varit täckt av relativt djupt vatten. Genom svallningen har även anriksats en smal bård av friktionsmaterial längs foten av bergssluttningarna.



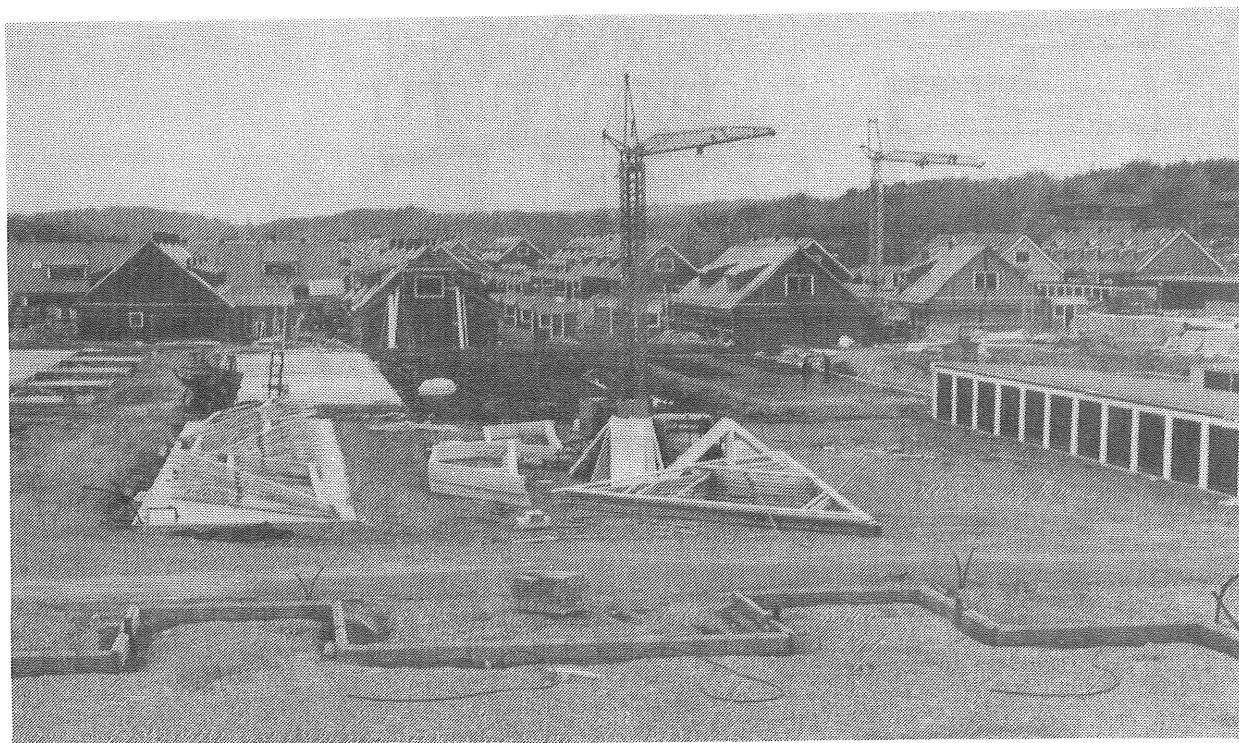
Figur 3. Bratthammardalgången från söder i april 1975.  
Foto: Chester Svensson.

Jorrdjupet i dalgången är maximalt ca 30 m. Närmast berggrunden finns ett tunt men troligen ganska sammanhängande lager av friktionsmaterial. En grov redovisning av mäktigheten grundad på utförda trycksonderingar finns på kartan, bilaga 1. Det framgår att mäktigheten understiger 0,5 m inom relativt stora områden. Säkrare upplysningar än trycksonderingarna har de tre rördrivningarna givit (se bilaga 7). I samband med dessa har sand och grovmo konstaterats med mäktigheten 0,25 m i rör 25, 1 m i rör 16 och 2,5 m i rör 19. Till största delen består jordlagren av homogen lera. Av trycksonderingsdiagrammen framgår att skikt av grövre material i allmänhet saknas. Sådana kan emellertid normalt förväntas förekomma närmast dalsidorna. De översta delarna av lerlagren är gyttjiga, speciellt i dalgångens centrala del.

Från geoteknisk synpunkt är leran inom området normalkonsoliderad, dvs den tål endast små laster i form av uppfyllnader eller grundvattensänkning innan sättningar börjar uppträda. Inom den centrala delen av området finns i ytan ett upp till 5 m mäktigt lager av gyttjehaltig lera. Denna är speciellt kompressibel, och kan därför ge upphov till svåra sättningar. Leran har vidare en ganska hög sensitivitet, dvs känslighet för omrörning. Sensitivitetsvärden på 20-70 har uppmätts. Lerans torrskorpa, dvs det ytskikt som varit utsatt för uttorkning och andra markprocesser, har en mäktighet på 0,7-2,2 m. Tunnast är torrskorpan inom de lägst liggande, centrala partierna av dalgången, mäktigast längs dalsidorna.

### 2.3 Bebyggelse

Bebyggelsen i Bratthammarområdet, se figur 4, består av en och enhalvplans gruppbyggda radhus. Husen är av tre typer med ytan 118 m<sup>2</sup>, 179 m<sup>2</sup> respektive 195 m<sup>2</sup>. Grundläggningen utgörs av betongplatta på mark och stödpålning till berggrunden under leran. Husen saknar källare. Byggnadsmaterialet i väggarna är regelstommar av trä med utvändig lockpanel. Taken är täckta med betongpannor. Husen värms med direktverkande elvärme.



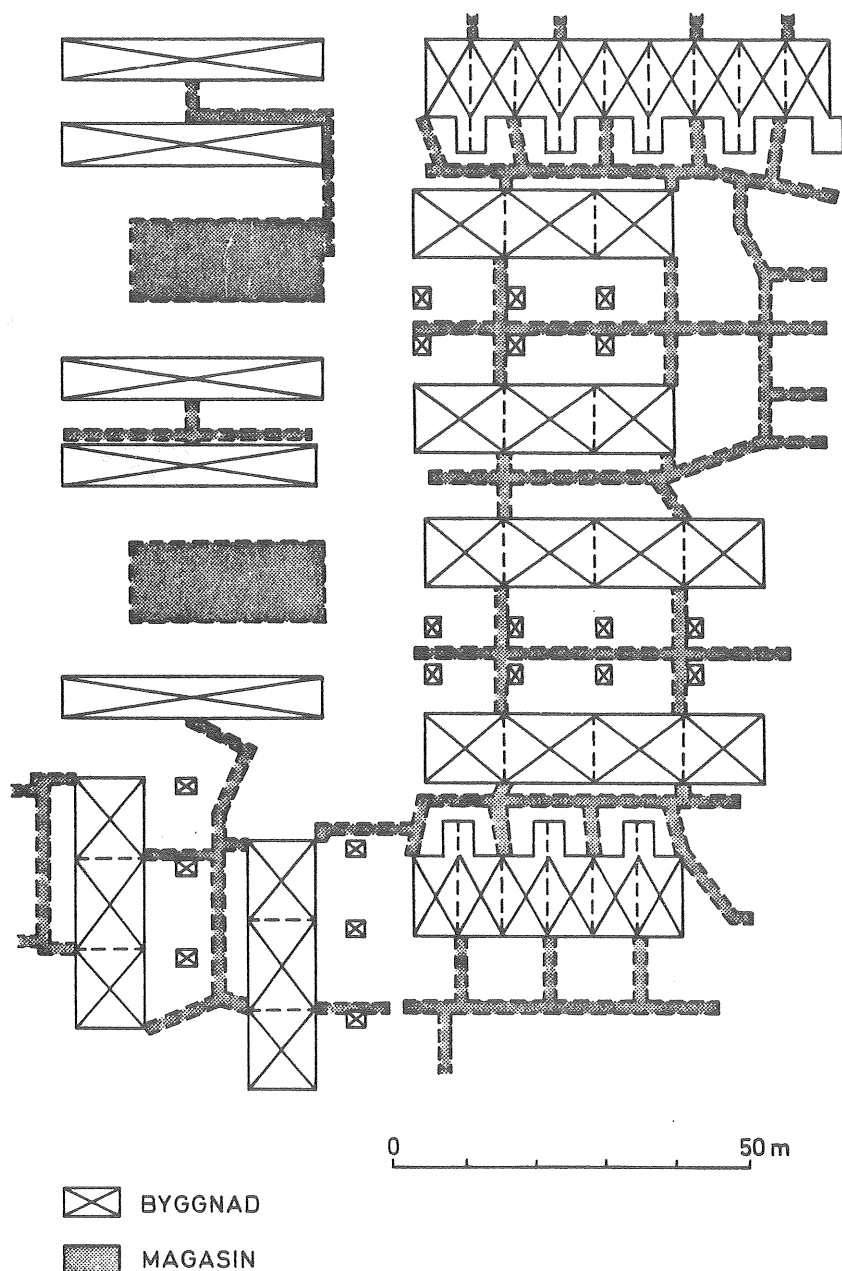
*Figur 4. Bebyggelsen i Bratthammardalgången under uppförande hösten 1976.  
Foto: Olov Holmstrand*

Till en del av husen hör friliggande förrådsbodar. Dessa har grundlagts på enkla plintar direkt i leran.

Inom området finns förutom hustomterna asfalterade entrégator, asfalterade parkeringsplatser med anslutande separata garagebyggnader samt lekplatser och några gemensamma gräsytor.

#### 2.4 Dagvattenhantering

Dagvattnet från tak och asfaltytor inom området avleds till makadamfyllda magasin, som utförts i lerans torrskorpa. Magasinen ligger i plan så att vattnet skall kunna fördelas väl inom området som framgår av figur 5. Magasinen är försedda med bräddningsanordningar, vilka är anslutna till ett dagvattensystem med reducerade dimensio-

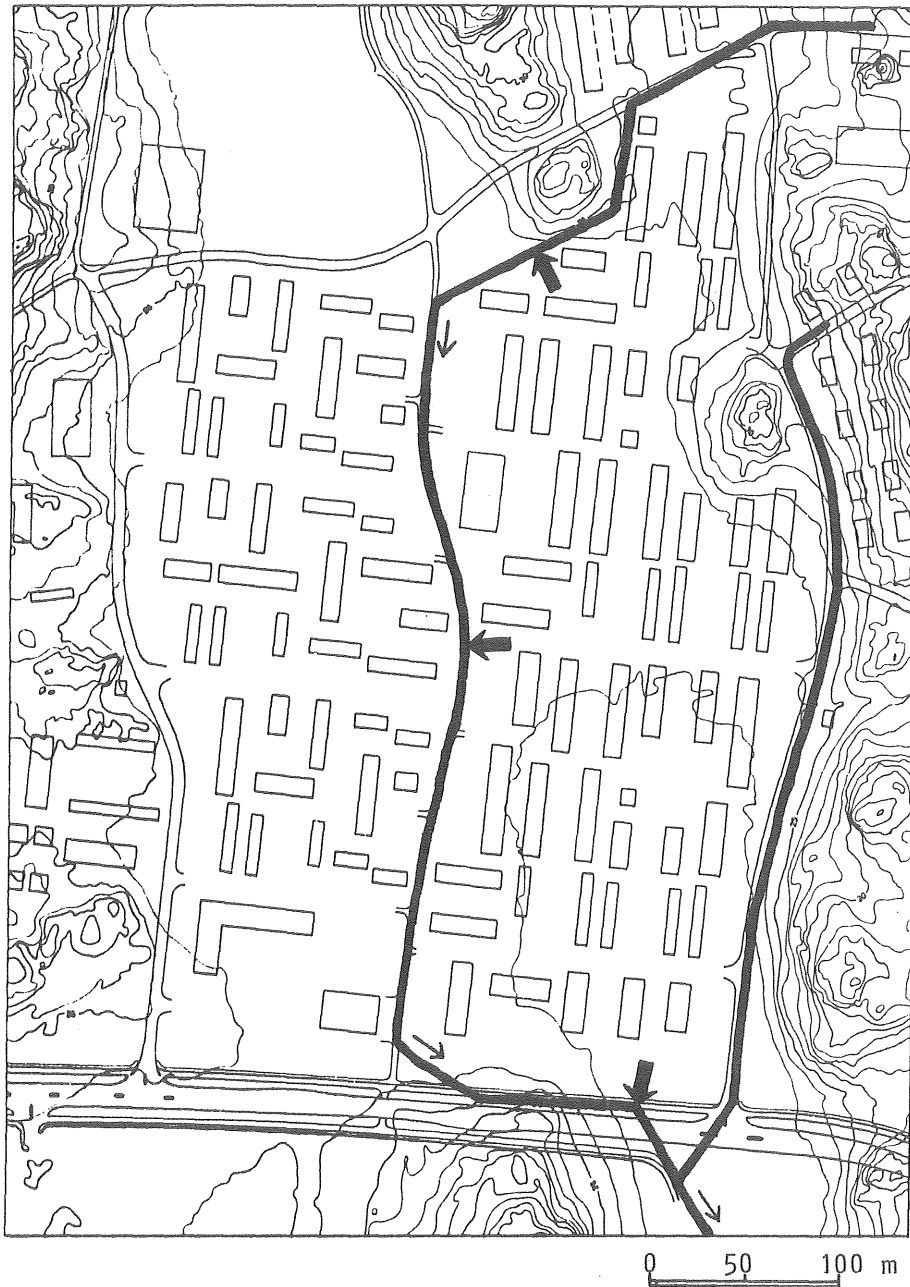


Figur 5. Del av Bratthammarområdet som visar fördelningen av byggnader och magasin.

ner inom det bebyggda området. Detta interna dagvatten-  
nät ansluter i tre punkter till kommunens dagvattenkul-  
vert, vilken är dragen i områdets gräns mot norr, väster  
och söder och med avledning mot söder, se figur 6.

Perkolationsanläggningens avsedda funktion är att från  
magasinen leda ut och fördela vattnet i torrskorpelerans  
spricksystem och därigenom motverka ytterligare uttork-  
ning och torrskorpebildning. Förutom anläggandet av maga-  
sinen har stor vikt lagts vid att förhindra läckage till  
ledningssystemen i området. Alla rörgravar har sålunda





Figur 6. Huvudkulvertsystem för avledning av dagvatten från området. De grova pilarna anger anslutningspunkter för områdets interna dagvattennät.

återfyllts med ursprungligt lermaterial, som packats och därigenom gjorts så tätt som möjligt. Ledningarna har också gjorts så täta som möjligt. Rören, av PVC-plast, har gummiringfogats och betongbrunnarna försetts med in-gjutna övergångsdelar för plaströr.

Kommunens dagvattenkulvert genom området är konventionellt dimensionerad för reducerat tvåårsregn. Någon dimensionsminskning har sålunda inte gjorts med hänsyn till dagvattensystemet inom området. Detta lär ha berott på att man vid tidpunkten för utförandet inte hade någon erfarenhet av perkolationsanläggningar och därför inte ansåg sig kunna minska dimensionerna. Dagvattenkulverten, som ligger ganska djupt utgör en risk för utdränering med påföljande sättningar. Speciellt gäller detta ett avsnitt i områdets sydvästra hörn, där kulverten går i bergskärning. Ledningsgraven har här stängts av med en betongskärm. Uppströms skärmen, dvs norrut, tillförs ledningsgraven vatten via en dräneringsledning som lagts i grovt material och anslutits med vattenlås till en nedstigningsbrunn.

### 3. PROJEKTETS GENOMFÖRANDE

#### 3.1 Undersökningar

Med utgångspunkt från projektets allmänna målsättning, som den redovisats i avsnitt 1.4, har de praktiska undersökningarna inom Bratthammarområdet inriktats på följande huvudmoment:

- att belysa områdets förutsättningar
- att undersöka dagvattensystemets funktion
- att undersöka inverkan av dagvatteninfiltrationen på områdets vattenbalans.

De viktigaste delmomenten i undersökningarna framgår av följande punkter:

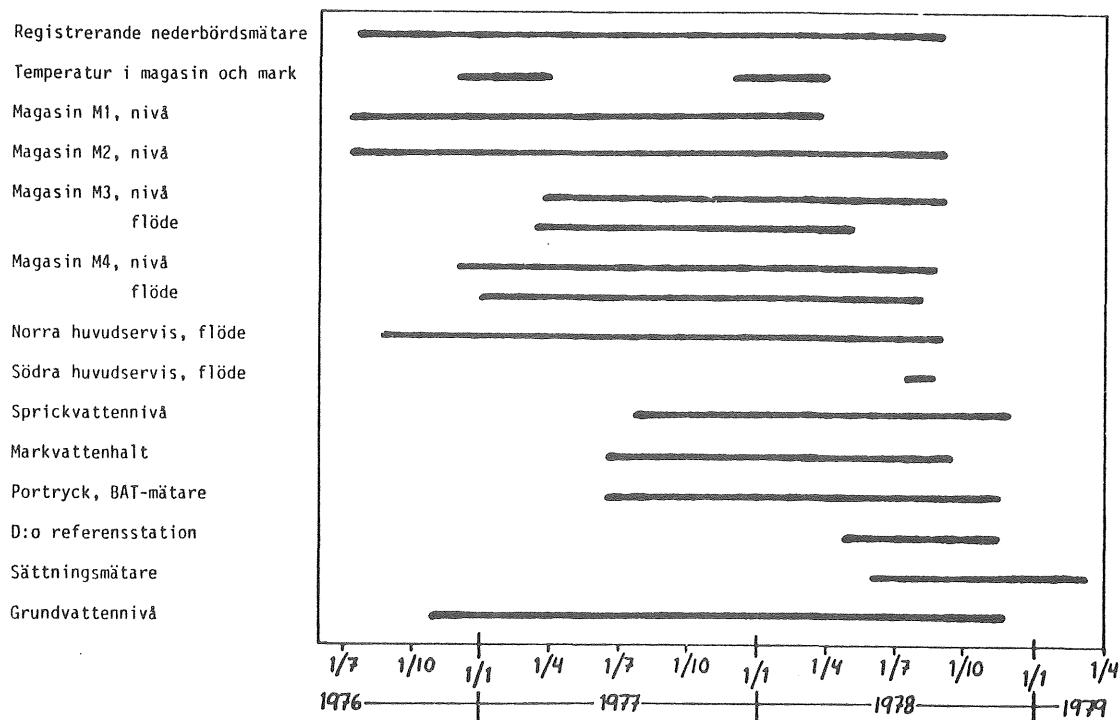
- Sammanställning och dokumentation av områdets geologiska uppbyggnad och geotekniska egenskaper.
- Nederbörds-mätning med registrerande nederbörds-mätare.
- Mätning av vattennivåer i magasin med registrerande mätare.
- Mätning av vattentemperaturen i magasin.

- Mätning av flöde från magasin med registrerande mätare.
- Mätning av flöde i två av områdets tre huvudavlopp till kulverten från området.
- Mätning av vattennivån i torrskorpans spricksystem (sprickvattenmagasinet).
- Mätning av markvattenhalten i de översta jordlagren.
- Mätning av portryck i leran samt avvägning av sättningspeglar.
- Mätning av grundvattennivån i grundvattenmagasinet i friktionsmaterial under leran.

Dessutom gjordes under projektets genomförande allmänna observationer av dagvattnets uppträdande i området.

Området bebyggdes och färdigställdes successivt medan forskningsprojektet pågick. Genomförandet av olika undersökningsmoment fick därför i hög grad anpassas efter tillgängligheten inom skilda delar av området. Vissa delundersökningar kom på detta sätt att omfatta relativt korta perioder. Generaliserat kan sägas att undersökningarna någorlunda väl belyser områdets funktion vid en tidpunkt, medan mera långsiktiga processer och förändringar knappast hunnit belysas. I några fall kan antydningar till långsiktiga trender spåras. En översiktlig redovisning av genomförda undersökningsmoment finns i figur 7.

Bratthammarområdet måste anses vara tämligen väl undersökt i flera olika avseenden. Utgångsläget är därför gott vad gäller fortsatta undersökningar för att följa eventuella långsiktiga förändringar. För att få full utdelning på hittills gjorda undersökningsinsatser är det angeläget att genomföra långtidsobservationer i området. Genomförandet av sådana undersökningar övervägs närmare i avsnitt 5.



Figur 7. Diagram över tidsperioder för genomförande av väsentligare mätningar i Bratthammar.

### 3.2 Rapportering

Inom ramen för projektet "Lokalt omhändertagande av dagvatten" har successivt sammanställts ett stort antal rapporter. Dessa har antingen varit övergripande lägesrapporter eller behandlat avslutade delundersökningar. Bratthammarundersökningarna har belysts i ett flertal rapporter, av vilka följande innehåller mera omfattande avsnitt. Ordningsföljden är i stort sett kronologisk:

- Cederwall K, Holmstrand O, 1975-11-19. PM beträffande Geohydrologiska forskningsgruppens vid CTH planerade forskning inom områdena lokalt omhändertagande av dagvatten och markvatten under perioden 1976-02-01--1978-06-30. Bilaga till ansökan till BFR.

- Cederwall K, Ericsson L, Holmstrand O, 1976-01-16. Kompletteringar till ovan nämnda ansökan (3 st).
- Cederwall K, Holmstrand O. Local infiltration of storm water - presentation of a research project. NHK 1976, Reykjavik.
- Suneson B, Thorén B, 1977. Perkulationsmagasin i Bratt-  
hammar, Göteborgs kommun, förutsättningar och driftser-  
farenheter. Geologiska inst, CTH, publ B 95, examensar-  
bete.
- Ericsson L (red), 1977. Lokalt omhändertagande av dag-  
vatten. Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01-  
1977-01-31. Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, medde-  
lande nr 25.
- Eriksson A, Lindvall P, 1978. Lokalt omhändertagande av  
dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift  
och konstruktion av perkulationsanläggningar. Geohydrolo-  
giska forskningsgruppen, CTH, meddelande nr 27.
- Holmstrand O (red), 1978. Lokalt omhändertagande av dag-  
vatten. Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01--1977-  
11-30. Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, meddelan-  
de nr 28.
- Holmstrand O, 1978. Regnvatteninfiltration i stadsområ-  
den. Årsboken Ymer 1978.
- PM beträffande Geohydrologiska forskningsgruppens vid CTH  
projekt Lokalt omhändertagande av dagvatten under perio-  
den 1978-07-01--1979-06-30. Bilaga till ansökan till BFR  
daterad 1978-01-31.

Under utarbetande:

- von Schantz Å, Wimby A, Examensarbete vid Institutionen  
för vattenbyggnad.



Bratthammarprojektet har använts som exempel vid ett flertal förevisningar på platsen, kurser, konferenser m m. Slutligen kan nämnas att perkolationsanläggningarna och forskningsprojektet flera gånger har uppmärksammats i pressen.

#### 4. RESULTAT

##### 4.1 Inledning

Undersökningarna inom Bratthammarområdet har primärt givit ett mycket stort observationsmaterial. Mätningar, mätvärden och bearbetningar har en sådan omfattning att en total redovisning inte är möjlig av praktiska skäl. Trots att bearbetningen därför gjorts ganska översiktlig och sammanfattande har redovisningen i flera fall blivit så omfattande att placering i en löpande text inte skulle vara lämplig. I stället har detaljredovisningen av olika slags mätningar gjorts i form av bilagor. Innehållet i bilagorna har sedan sammanfattats och bearbetats i följande avsnitt 4.2-4.4.

##### 4.2 Områdets förutsättningar

Bratthammarområdets geologiska uppbyggnad är okomplicerad som framgår av bilaga 1. Samtidigt är området väl representativt för lerfyllda dalgångar av den typ som förekommer i Göteborgstrakten. Grundförutsättningarna för bebyggelse är ogynnsamma, eftersom leran är lös och sättningsbenägen. Det senare beror på att leran är normalkonsoliderad, att de översta delarna av leran är gjyttjiga och att den naturliga grundvattennivån låg ungefär i markytan.

Magasinsanläggningen för dagvattnet består av ett stort antal makadamfyllda diken, grunt förlagda huvudsakligen i lerans torrskorpa. Avsikten med anläggningen var i första hand att hålla uppe portrycket i leran och på så sätt om möjligt undvika sättningar. Den flödesutjämning

som också blir följderna av perkolationsanläggningen har inte utnyttjats utanför området, eftersom huvudkulverten för dagvatten från området dimensionerats på konventionellt sätt. Frånsett vattnet från vissa asfaltytor förs allt dagvatten i området till magasinen.

Ett stort antal parametrar som berör vattenomsättningen har observerats i Bratthammarområdet inom ramen för forskningsprojektet. Genom den korta mätperioden, mellan ett och två år, är det inte möjligt att bedöma några långsiktiga förändringar i området. Mätningarna räcker i stort sett bara till att bedöma vattenomsättningen vid tidpunkten strax efter områdets färdigställande. För att bedöma mera långsiktiga skeenden krävs uppskattningsvis mätserier på 5-10 år.

#### 4.3 Perkolationsanläggningens funktion

I eller omedelbart intill magasinen har följande mätningar genomförts:

- Vattennivå i magasinsfyllningen
- Avbördning från magasinen
- Volymkalibrering
- Temperatur i magasin och omgivande mark
- Funktionsinventering

Utanför magasinen har följande mätningar genomförts:

- Nederbörd
- Avrinning från större områden
- Sprickvattennivå
- Porttryck
- Sättningar
- Grundvattennivå i undre grundvattenmagasinet

Magasinens utförande har översiktligt kontrollerats genom en inventering samt punktvis genom funktionskontroller av några magasin. I stort sett verkar magasinen ha utförts som planerat, men vissa avvikelser förekommer, t ex verkar några bräddavloppsbrunnar saknas.

Magasinen verkar i huvudsak fungera på avsett sätt. Givetvis finns en ganska vid spridning i funktionssättet. Vissa magasin töms sålunda mycket snabbt till omgivande marklager, medan andra uteslutande tycks fungera som utjämningsmagasin. Intagsbrunnarna vid stuprörens utkastare har i vissa fall vid intensiva regn svämmat över. Detta kan delvis bero på dålig renhållning i brunnarna, där skräp samlats ovanpå makadammen. Även bräddavloppen har i vissa fall fungerat mindre väl beroende på att avtappningshålen satts igen av skräp. Däremot har aldrig registrerats att själva bräddavloppsroret varit ur funktion.

Magasinen verkar ha dimensionerats med god säkerhetsmarginal. Till denna bidrar säkerligen det dokumenterade förhållandet att vattnet från magasinen verkar sprida sig väl utanför magasinen. Spridningen sker inte bara i lerans torrskorpa utan också i ledningsgravar, husdräneringar m m, vilket i huvudsak bör uppfattas som positivt.

Magasinens klimatberoende har inte detaljstuderats, men vissa slutsatser går ändå att dra. De två observerade vintrarna 1976/77 och 1977/78 har varit tämligen normala för Göteborgs förhållanden. Möjligen kan sägas att ovanligt långa, sammanhängande perioder med temperatur under 0<sup>o</sup> förekommit och att snömängderna varit ovanligt stora. Genomförda temperaturmätningar tyder på att magasinen inte har frusit. Allmänna observationer har inte givit några exempel på funktionsstörningar exempelvis under snösmältningen. Sammanfattningsvis tycks vinterförhållanden inte påverka magasinsanläggningen negativt.

#### 4.4 Vattenomsättning

Huvudsyftet med perkolationsmagasinen i Bratthammar var att motverka sättningar till följd av skadlig uttorkning av leran. Avsikten var sålunda att om möjligt någorlunda bevara den naturliga vattenbalansen.

Leran är i sig så gott som ogenomsläpplig för vatten. Detta gör att man genom perkolationsmagasinen bara kan påverka den övre grundvattennivån i lerans torrskorpa. Under det mäktiga lerlagret finns närmast berggrunden i friktionsmaterial en undre grundvattennivå. Detta undre grundvattenmagasin får sin vattentillförsel från dalsidorna och eventuellt genom berggrunden från kringliggande bergryggar. Magasinsanläggningen bedöms knappast kunna påverka den undre grundvattennivån, något som verkar bekräftas av genomförda grundvattenobservationer (se bilaga 7). Av observationerna framgår eventuellt att grundvattennivån i det undre magasinet långsamt sjunker, något som är förklarligt med tanke på att dalsidorna och angränsande bergryggar i stor utsträckning påverkats av byggnadsverksamhet. På längre sikt kan en sådan grundvattensänkning, om den fortgår, komma att förorsaka sättningar i lerlagren.

Av genomförda mätningar i och kring magasinen tycks framgå att vattnet fördelas väl i området och därmed bidrar till att hålla uppe nivån i det övre grundvattenmagasinet (sprickvattenmagasinet). Magasinen fungerar samtidigt som dränering och förhindrar alltför höga vattennivåer, något som skulle kunna förorsaka försumpningsproblem.

Ett försök har gjorts att beräkna vattenomsättningen i den del av området som avvattnas till norra huvudservisen på huvudkulverten genom området (se figur 8). För att få fram en fullständig bild av vattenomsättningen krävs kännedom om följande faktorer:

- Nederbörd
- Avdunstning
- Markvattenhalt
- Grundvattennivå (övre magasin)
- Ytavrinning
- Grundvattenbildning (nedre magasin)

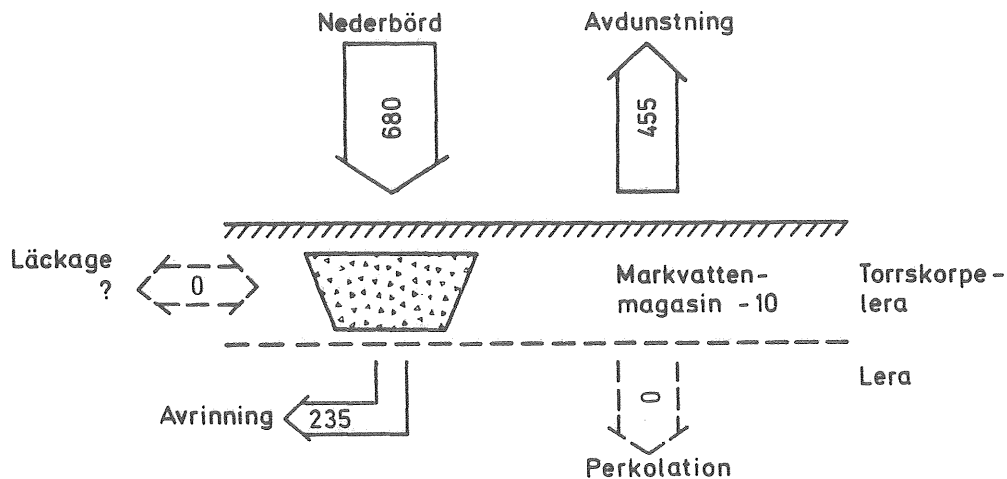
Vattenomsättningen har beräknats för ett år, perioden 1977-08-15 till 1978-08-15. Nederbördsmängden var under



Figur 8. Tillrinningsområde för norra huvudservisen i Bratthammarområdet.

denna tid 680 mm. Skillnaden i magasinerad vattenvolym i magasinen inom området under perioden är försumbar, eller mindre än 1 mm. Markvattenhaltens förändring har bestämts till 10 mm. Avrinningen har beräknats från den kontinuerliga mätserien vid norra servisanslutningen till 235 mm. Grundvattenbildningen till undre magasinet antas vara 0. Avdunstningen har ej uppmätts och kan i stället

beräknas som en restterm till 455 mm. Här kan emellertid också ingå den ej kända vattenomsättningen mellan det betraktade området och omgivningarna. Under förutsättning att detta utbyte är 0 erhålls den i figur 9 åskådliggjorda vattenbalansen.



Figur 9. Översiktlig vattenbalans för tillrinningsområdet till norra huvudservisen i Bratthammarområdet.

Förhållandet ytavrinning/nederbörd blir för den betraktade perioden 0,35. Detta kan jämföras med generellt beräknade värden för tätorter 0,5 respektive naturmark 0,35 (från data givna av Bucht m fl, 1977). Det bör emellertid anmärkas att dessa värden är mycket osäkra.

Avdunstningen för Bratthammarområdet som sålunda ej uppmätts utan beräknats som en restterm, överensstämmer med vad som kan förväntas i ett naturligt, icke bebyggt område. Detta kan förklaras med att perkulationsmagasinen ger rikligare vattentillförsel till de ytliga jordlagren. Det höga värdet kan emellertid också innefatta läckage ut från det betraktade området, t ex till schaktgraven för huvudkulverten i väster.

Områdets vattenbalans före bebyggandet är tyvärr inte känd. Det går därför inte att bedöma vilka förändringar bebyggelsen förorsakat. Troligen har emellertid förändringarna blivit mindre med perkulationsmagasin än vad

som annars skulle varit fallet. Samma slutsats kan dras av mätningarna av sprickvattenmagasin, porttryck och sättningar (se bilaga 4 och 6). Inga nämnvärda sättningar verkar sålunda ha uppträtt inom området under observationsperioden. Som nämnts kan emellertid förändringar i det undre grundvattenmagasinet på längre sikt tänkas förorsaka sättningar.

## 5. FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

I den ursprungliga målsättningen för Bratthammarprojektet ingick att kontrollera perkolationsanläggningarnas funktion och inverkan på vattenbalansen i området. Det senare är av speciellt intresse vad gäller möjligheterna att genom perkolationsanläggningarna motverka sättningar i lerlagren. Målsättningen har kunnat uppfyllas tillfredsställande sett på kort sikt. Genomförda undersökningar har givit ett gott bedömningsunderlag och en god "ögonblicksbild" av förhållandena i området. Däremot är ett till två års mätningar omedelbart efter områdets färdigställande otillräckligt för att bedöma vad som kan hända på längre sikt.

Utgångsläget för en långsiktig uppföljning av perkolationsanläggningarna i Bratthammar bedöms vara gott. Relativt stora resurser har satsats på att skaffa bakgrundsinformation och instrumentera området. Även om registrerande nederbördsräknare, flödesregistrering osv tagits bort finns åtskilligt kvar som grundvattenrör, porttrycksmätare och sättningspeglar. Underlåtenhet att fullfölja undersökningarna med långsiktiga observationer skulle innebära ett visst mått av resursförstöring både vad avser nedlagt arbete och kvarvarande installationer.

En långsiktig uppföljning av Bratthammarområdet skulle sannolikt behöva genomföras under 5-10 år. För att garantera kontinuiteten krävs en huvudansvarig som har lång-

siktig verksamhet geografiskt och/eller inom ämnesområdet. Tänkbar ansvarig kan i så fall vara exempelvis Göteborgs VA-verk.

Väsentliga punkter i en långsiktig uppföljning är kontinuerliga observationer av portryck, grundvattennivåer, sättningspeglar osv. Dessutom krävs återkommande kontroll av perkolationsmagasinens tillstånd och funktion. En viss grad av kontinuerlig bearbetning behövs också för att underlätta återkommande utvärdering och redovisning. Innan eventuell långsiktig uppföljning startas bör givetvis ett detaljerat program upprättas.

## 6 REFERENSER

Bucht E, Carlsson L, Falk J, Hällgren J, Malmquist P-A,  
1977. Dagvatten, resurs och belastning. SNV PM873.

Ericsson L O, 1977. Lokalt omhändertagande av dagvatten.  
Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01--  
1977-01-31. Geohydrologiska forskningsgruppen  
CTH, meddelande nr 25.

Göteborgs Stads Egnahems AB, Svenska Riksbyggen, 1973.  
Förslag till infiltrationsanläggningar inom grupp-  
husområde i Bratthammar, stadsdelen Tynnered,  
Göteborg.

Holmstrand O, 1978. Lokalt omhändertagande av dagvatten.  
Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01--  
1977-11-30. Geohydrologiska forskningsgruppen  
CTH, meddelande nr 28.

Holmstrand O, 1980. Lokalt omhändertagande av dagvatten.  
Sammanfattning av forskning om dagvatteninfiltra-  
tion vid CTH, 1976-79. Geohydrologiska forsk-  
ningsgruppen CTH, meddelande nr 53.



- Holmstrand O, Lindvall P, 1979. Infiltrera dagvatten.  
Planering och metoder. Naturvårdsverket, Byggnadsforskningen.
- Paus K, Andersson R, Carlstedt B, 1974. Regnvattenavledning genom magasinering och perkolation. Byggnadsforskningen rapport R23:1974.
- Suneson B, Thorén B, 1977. Perkolutionsmagasin i Bratt-  
hammar, Göteborgs kommun. Förutsättningar och  
driftserfarenheter. Geologiska institutionen  
CTH/GU publ B95, examensarbete.

BILAGA 1

## INGENJÖRSGEOLOGISK KARTA

## 1. BESKRIVNING

Uppgifter om Bratthammarområdets geologi sammanställdes inom ramen för ett examensarbete vid Geologiska institutionen, CTH (Suneson och Thorén, 1977). Resultatet redovisades i form av ingenjörsgelogisk karta enligt den metod som utarbetats av Holmstrand och Wedel (1977). Kartan med tillhörande sektioner återges här något nedminskade jämfört med ursprunglig skala i figur 1-1 till 1-5.

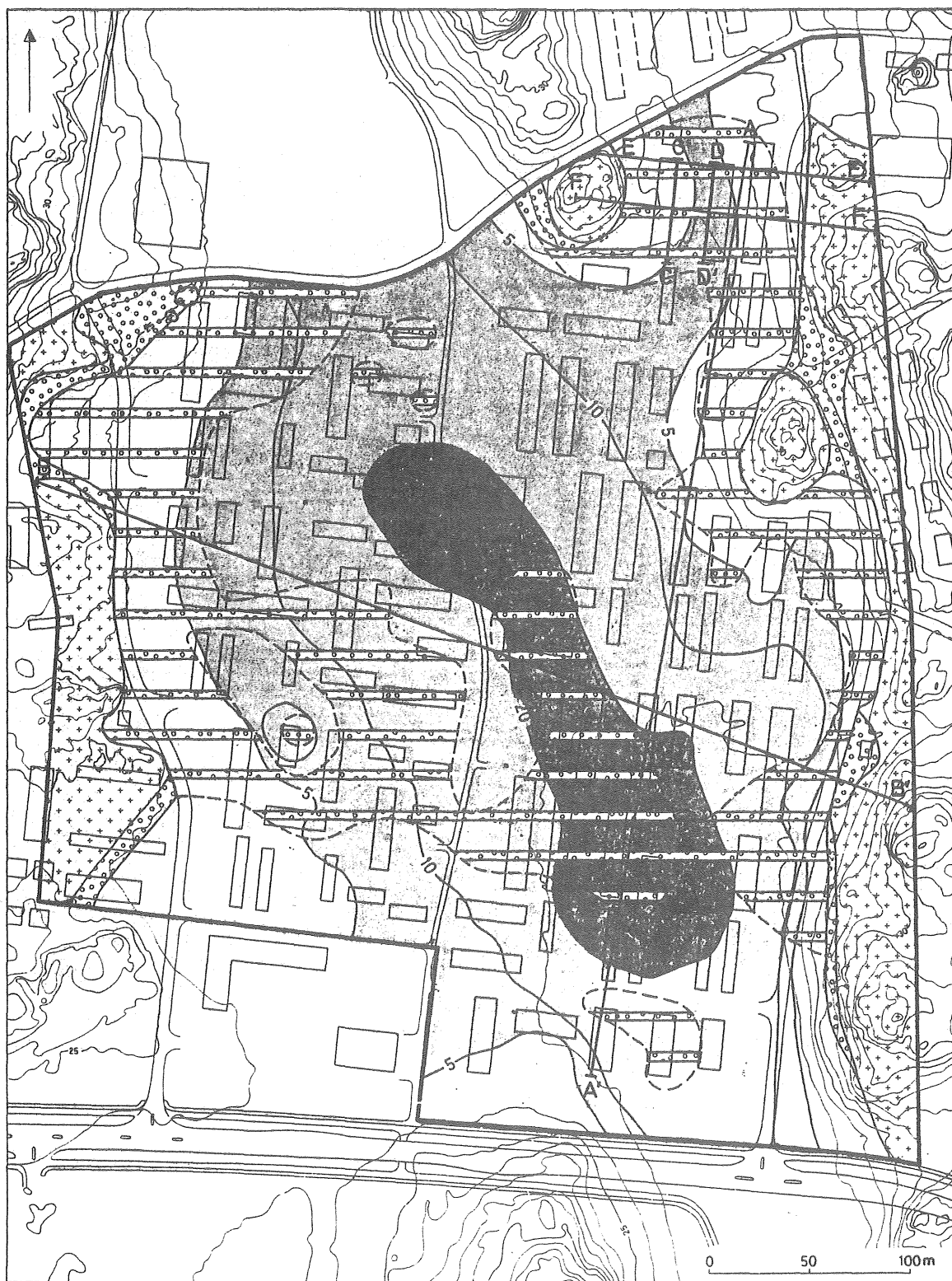
Kartan och sektionerna sammanställdes med utgångspunkt från i första hand utförda geotekniska undersökningar. Dessutom genomfördes en kompletterande ytkartering för att framför allt bestämma förhållandena längs dalsidorernas bergskanter.

Bratthammarområdets geologiska uppbyggnad är som framgår av karta och sektioner okomplicerad. Under den mäkliga, homogena leran finns ett tunt lager friktionsmaterial på berggrunden. Friktionsmaterialet når delvis upp i markytan längs dalsidorna.

## 2. REFERENSER

Holmstrand O, Wedel P, Ingenjörsgelogisk kartering.  
Redovisning av i första hand jordlager och  
grundvatten. Geologiska institutionen CTH/GU  
publ. A17.

Suneson B, Thorén B, 1977. Perkulationsmagasin i Bratt-  
hammar, Göteborgs kommun. Förutsättningar och  
driftserfarenheter. Geologiska institutionen  
CTH/GU publ. B95.



## BETECKNINGAR:



Berg i dagen  
eller på ringa djup (mindre än 0,5 m).



Grus, sand, grovmo.



Grov sediment, minst 0,5 m mäktigt  
under lera.

## Lera



0-5 m



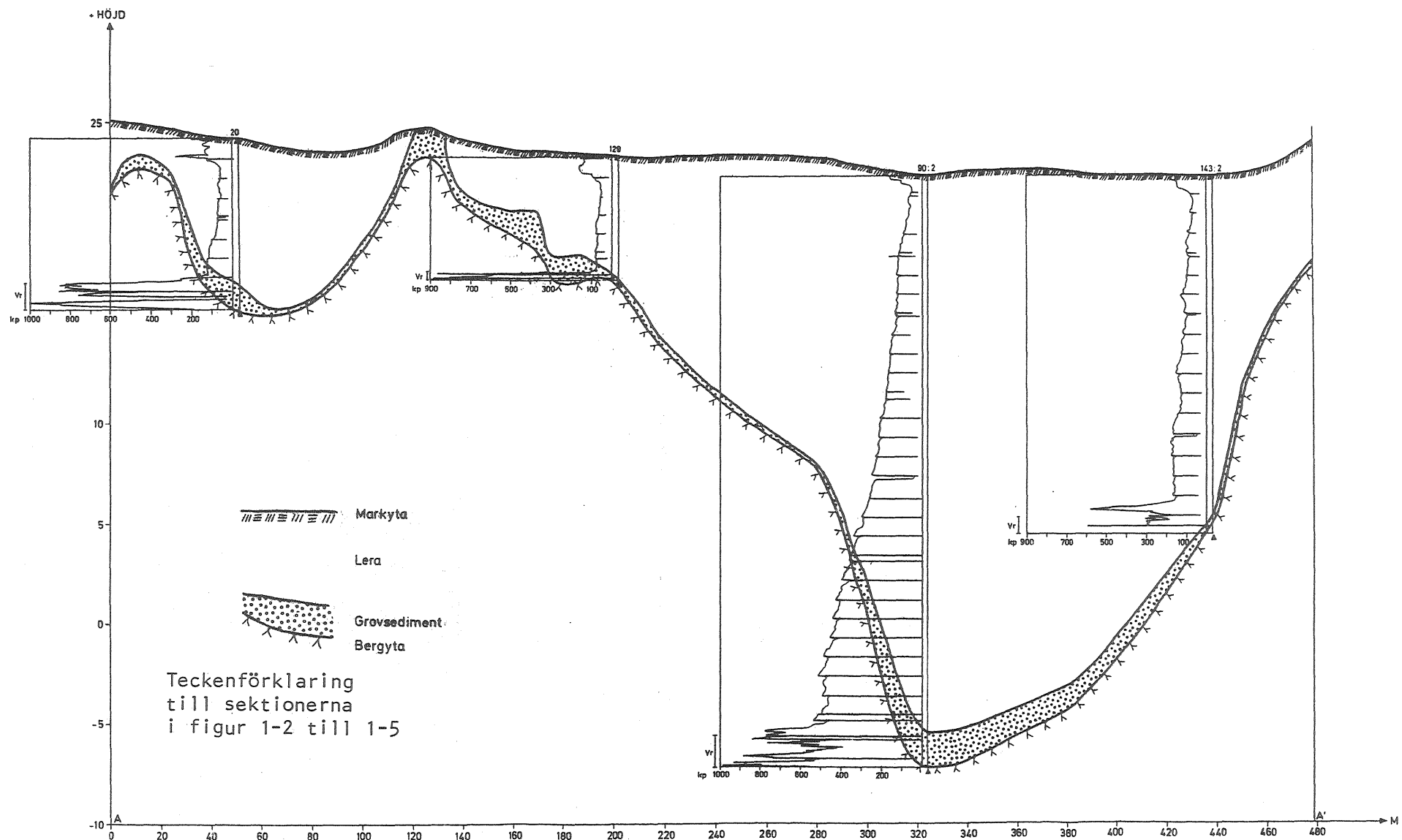
5-20 m



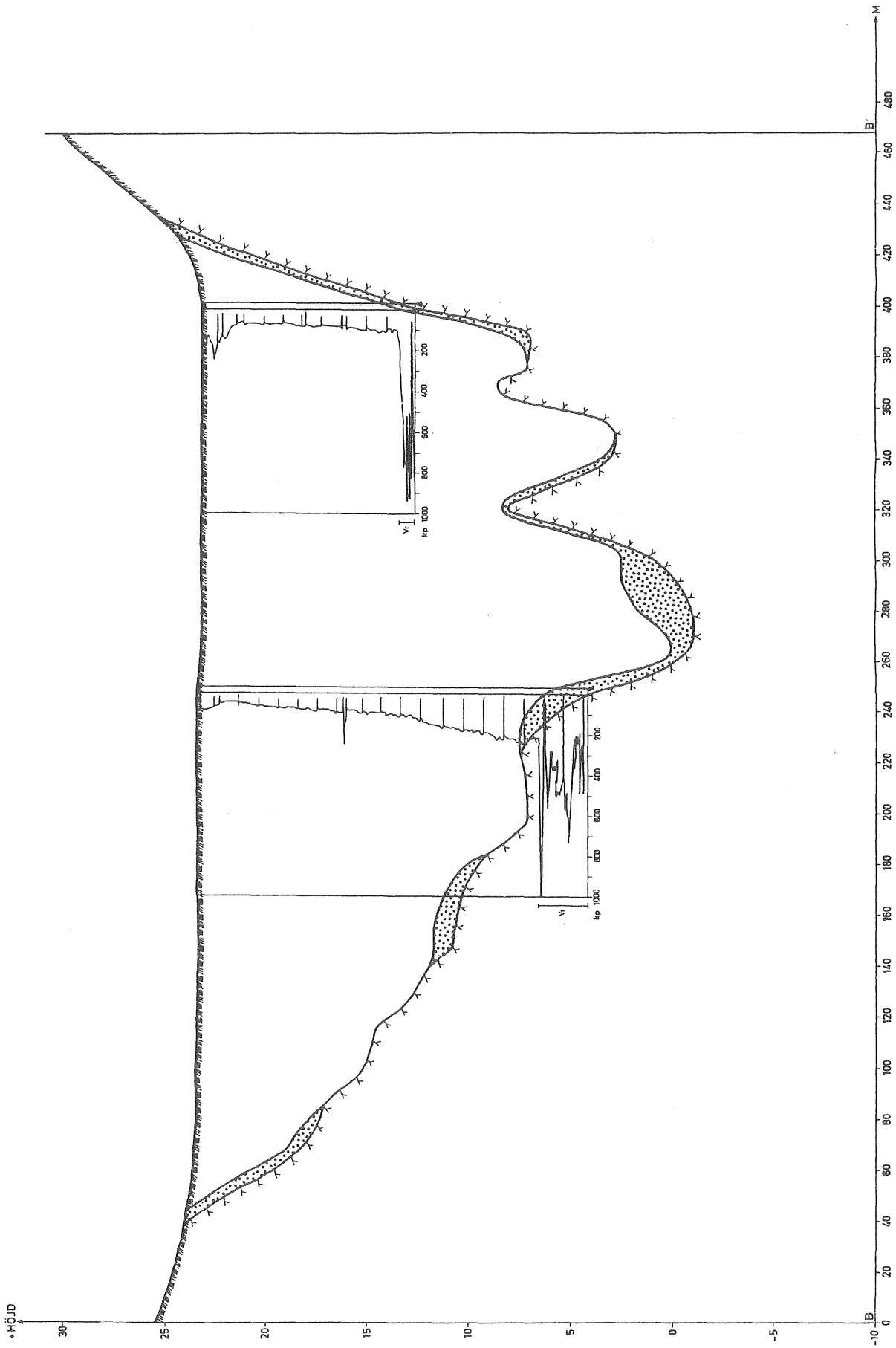
> 20 m

A A' Profil

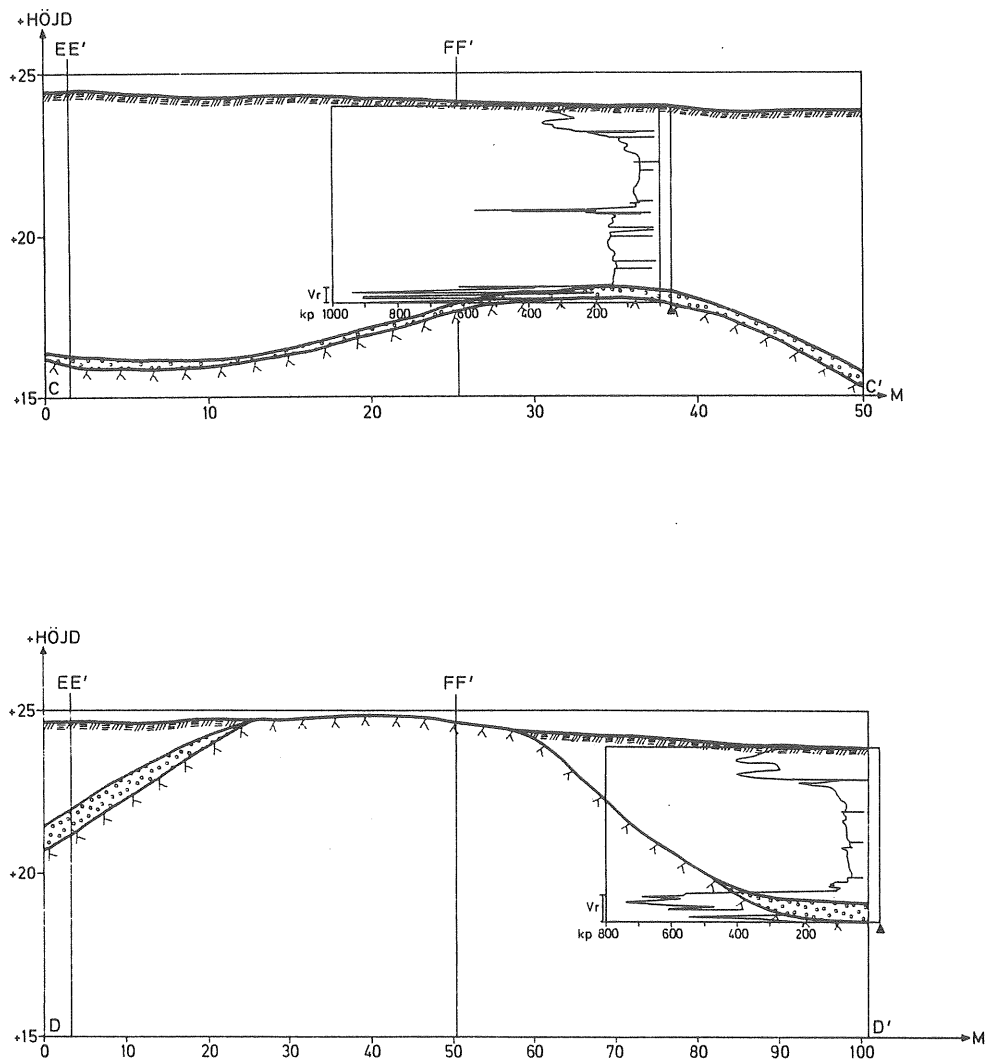
Figur 1-1 Ingenjörsgelogisk karta över Bratthammar.



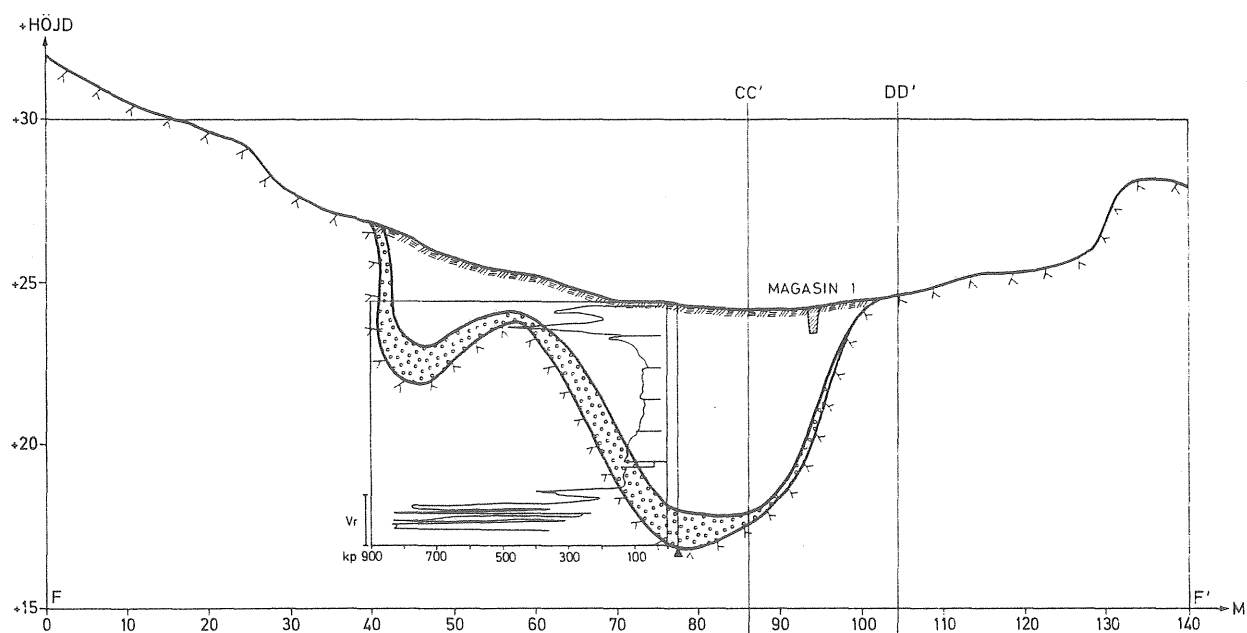
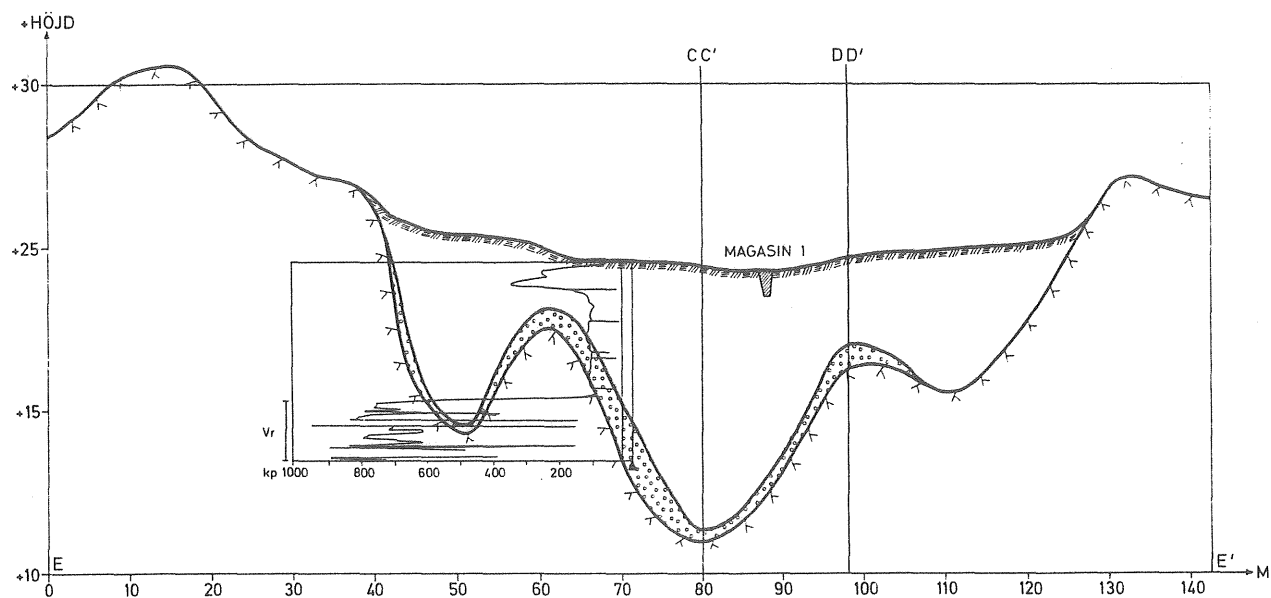
Figur 1-2 Sektion A-A' på ingenjörsgelogiska kartan över Bratthammar.



Figur 1-3 Sektion B-B' på ingenjörsgelogiska kartan över  
Bratthammar.



Figur 1-4    *Sektion C-C' och D-D' på ingenjörsgelogiska kartan över Bratthammar.*



Figur 1-5    *Sektion E-E' och F-F' på ingenjörsgelogiska kartan över Bratthammar.*





## NEDERBÖRDSMÄTNINGAR

Innehåll

1.	SYFTE	36
2.	MÄTSTATION	36
2.1	Placering	36
2.2	Instrument	38
2.3	Mätperiod och ersättningsstation	40
3.	BEARBETNING AV MÄTDATA	40
4.	REDOVISNING OCH TOLKNING AV NEDERBÖRDSDATA	41
4.1	Intressanta nederbördssituationer	41
4.2	Årsnederbörd, månadsnederbörd	42
4.3	Dygnsnederbörd	44
4.4	Häftiga regn	46
4.5	Vintersituation	46
5.	REFERENSER	47

## 1. SYFTE

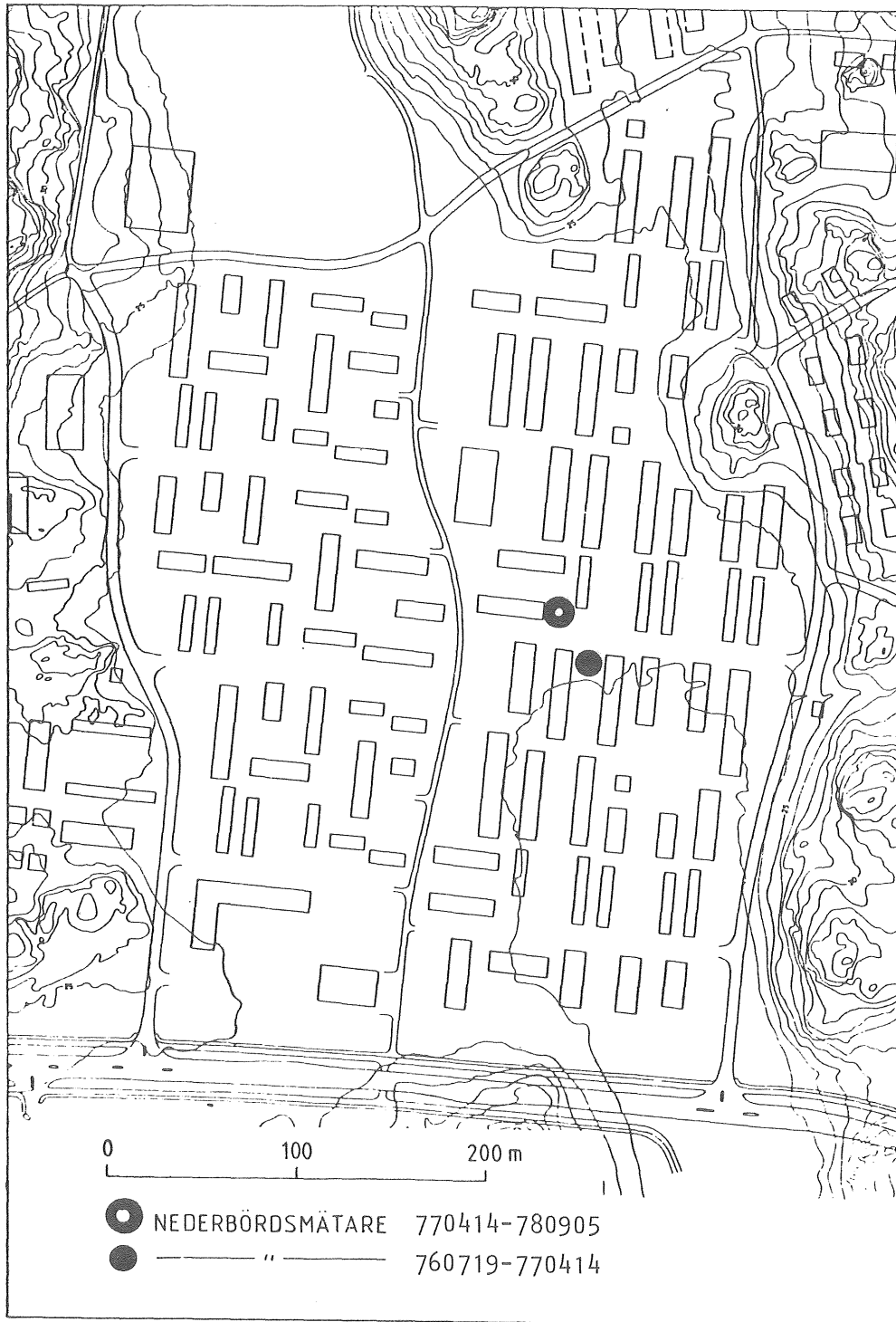
Två av huvudsyftena med Bratthammarprojektet var studium av perkolationsmagasinens funktion och studium av perkolationsmagasinens inverkan på vattenbalansen i området. I båda fallen fordras noggrann information om nederbörden. För studium av magasinets funktion krävs uppgifter om kortvariga nederbördsintensiteter och -mängder, för studium av vattenbalansen uppgifter om nederbördsmängder under längre perioder.

Nederbördens fördelning över ett område sker mycket ojämnt. Små avstånd som någon kilometer är ofta tillräckliga för att ge avsevärt skilda nederbördsmängder vid samma tidpunkt. Speciellt gäller detta skurnederbörd under sommarhalvåret. För att uppfylla kraven på information om nederbörden i Bratthammarområdet krävdes därför speciella mätningar i området.

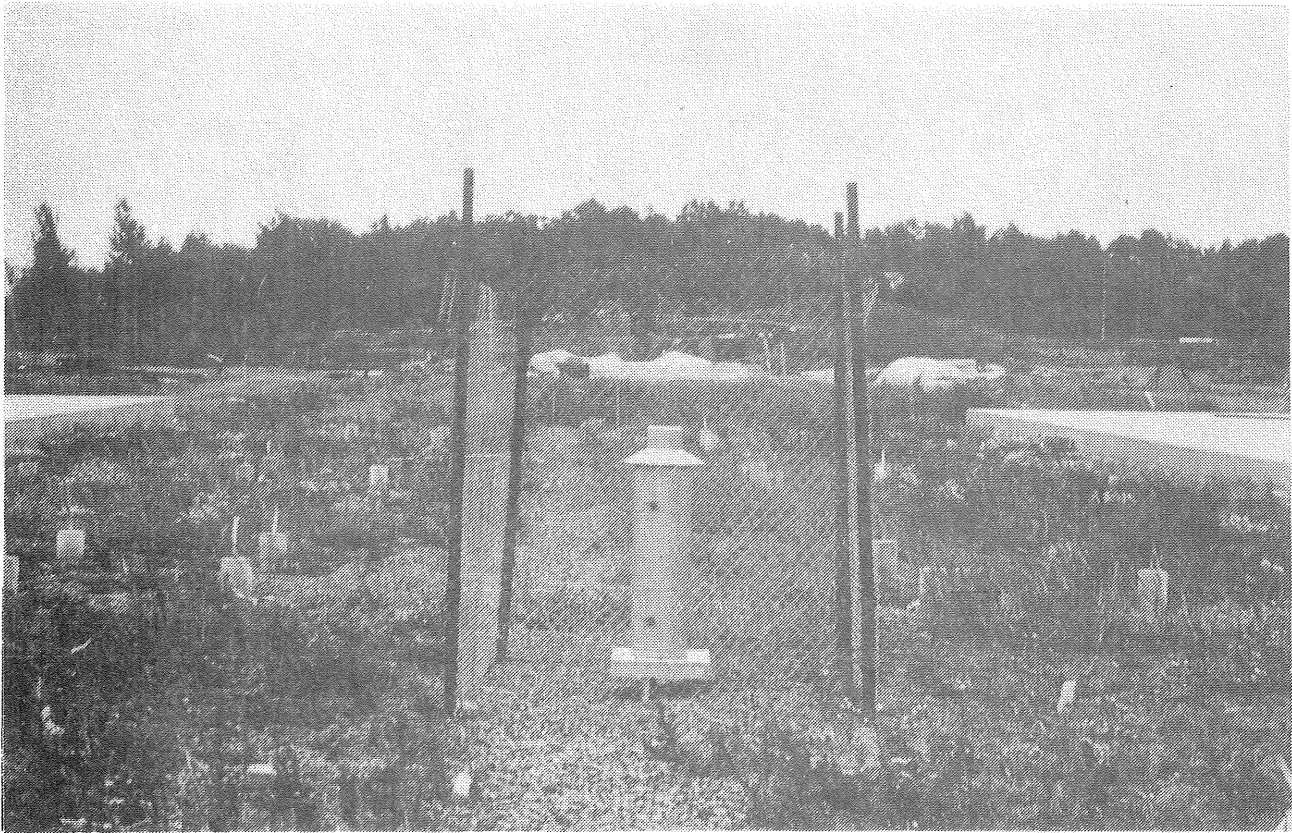
## 2. MÄTSTATION

### 2.1 Placering

Med hänsyn till Bratthammarområdets begränsade storlek har mätningar i en punkt bedömts tillräckliga. Nederbördsstationen upprättades centralt i området. När stationen skulle startas pågick byggnadsarbeten kring den tilltänkta platsen i området. Under byggnadsperioden (juli 1976 - april 1977) var mätaren därför provisoriskt placerad på en innergård med 1½-planshus på ca 8 m avstånd mot öster och väster samt 1-plans förrådsbyggnader på 5 m avstånd mot norr och söder, se figur 2-1. Stationen inhägnades som skydd mot skadegörelse, se figur 2-2. I april 1977 flyttades nederbördsstationen till en planteringsyta 30 m nordväst om tidigare placering. Den stod där med 1½-planshus och 1-plans garagebyggnader på 10-20 m avstånd.



*Figur 2-1 Nederbördsstationens placering i Bratthammarområdet.*



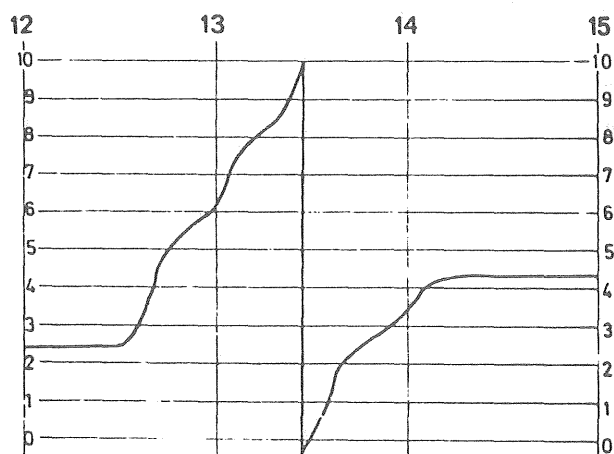
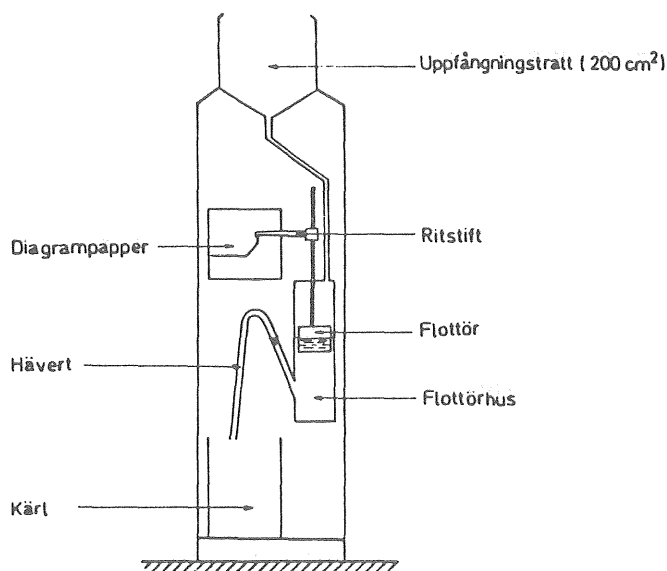
*Figur 2-2 Nederbördsstationens provisoriska placering under byggnadsperioden. Foto: Per Lindvall*

## 2.2 Instrument

Registrering av nederbörd har skett med en mätare som fungerar enligt flottörprincipen, typ Hellman, se figur 2-3.

Mätaren är försedd med en 200 mm<sup>2</sup> uppsamlingstratt, från vilken nederbörden tillförs ett flottörhus. Nivåförändringen överförs till ett ritstift som ger en kurva över ackumulerad nederbörd som funktion av tiden registrerad på ett diagrapapper. Dessutom erhålls den ackumulerade nederbördsmängden i ett uppsamlingskärlet till vilket flottörhuset töms genom ett hävertrör.

Diagrapapperet medger registrering under tre veckor. Normalt har mätaren kontrollerats 1 gång i veckan. I samband med pappersbyte noteras datum och exakt tidpunkt samt kontrollmäts volymen i uppsamlingskärlet.



*Figur 2-3 Nederbördsmätare typ Hellman samt exempel på nederbördsdiagram (ur Arnell och Lyngfelt, 1975).*

Framdrivningshastigheten för diagrampapperet är 40 mm/tim vilket möjliggör en avläsningsnoggrannhet på 2-3 min. Nederbörds mängden kan avläsas i tiondels millimeter. Mätaren uppvärms vintertid med en termostatstyrd värmelampa. Snön smälts och registreras som flytande nederbörd (dock förknippat med felkällor). Beroende på olika mätfel kan denna typ av nederbörds mätare ge ca 10% för små mätvärden speciellt vid mätning av snö (Arnell och Asp, 1979). Vid jämförelse med mätdata från nederbördsstationer med annat instrument, vilket görs senare i denna bilaga, är detta viktigt att beakta.

### 2.3 Mätperiod och ersättningsstation

Mätstationen var i drift under perioden juli 1976 - augusti 1978 med undantag av ett fåtal driftavbrott. För dessa perioder har data kunnat användas från en ersättningsstation vid Näsets reningsverk (se figur 2-4, station 101). Avståndet mellan de båda stationerna är ca 3 km. Vid utnyttjande av data från Näset måste avvikelser som kan förekomma gentemot stationen i Bratthammar beaktas. Nederbörds-mätarna i Bratthammar och Näset är av samma typ (Hellman).

## 3 BEARBETNING AV MÄTDATA

Nederbördsdata utnyttjas för analys av övriga i Bratthammar undersökta parametrar. Kraven på tidsupplösning varierar därvid från exempelvis ca 2 minuter vid avrinningsstudier till månadsvärden vid analys av grundvattnivåvariationer.

Nederbörds-mätningarna pågick från 30 juli 1976 till 5 september 1978. Stationen flyttades som nämnts 14 april 1977. Under mätperioden saknas data från följande tillfällen:

1976	23/9-29/9			
1977	27/4	15/8-17/8	1/10-3/10	6/10-11/10
1978	29/3-17/4			

För ovan angivna perioder har mätdata från nederbördsstationen vid Näset använts, (Göteborgs VA-verk, 1977, 1978, 1979). Tillgängligheten av mätdata från nederbördsstationen i Bratthammar är 95%.

Mätdata erhålls från nederbördsstationen i form av diagramrullar som redovisar ackumulerad nederbörd som funktion av tiden för en treveckorsperiod. Utvärderingen utförs manuellt och med hjälp av koordinatograf.

Efter varje treveckorsperiod utvärderas dygnsnederbörd samt fortlöpande en summering av månadsnederbörd och årsnederbörd. Såsom dygnsnederbörd räknas den nederbörd som faller mellan klockan 00 och klockan 24. I samband med genomgång av diagramrullarna noteras även nederbördsintensiteter för häftiga regn.

#### 4. REDOVISNING OCH TOLKNING AV NEDERBÖRDSDATA

##### 4.1 Intressanta nederbördssituationer

Nederbördssituationer med höga intensiteter skapar stora dagvattenflöden. För konventionell dagvattenhantering är sådana situationer bestämmande vid ledningsdimensionering. Normalt används som dimensionerande regn ett blockregn med två års återkomsttid och 10 minuters varaktighet. Detta reduceras till 70% vid utbyggnad av duplikatsystem. Då dessa regn har kort varaktighet skapar de trots stor intensitet inte volymer som vid dagvatteninfiltration är av dimensionerande betydelse.

Intressanta nederbördssituationer för dagvatteninfiltration är i stället regn med varaktigheter på storleksordningen 1 dygn. Vid dimensionering av anläggningarna i Bratthammar har som dimensionerande regn använts ett statistiskt 2-årsregn med ett dygns varaktighet.

För intags- och bräddningsanordningar på perkolationsmagasin gäller att, som vid konventionella system, regnintensiteten är dimensionerande. Intagspunkten bör rimligen dimensioneras på konventionellt sätt medan bräddningsanordningen och ledningssystemet nedströms magasinet torde kunna bestämmas för regn med lägre regnintensiteter. Vilka dessa regn bör vara är för närvarande inte känt.

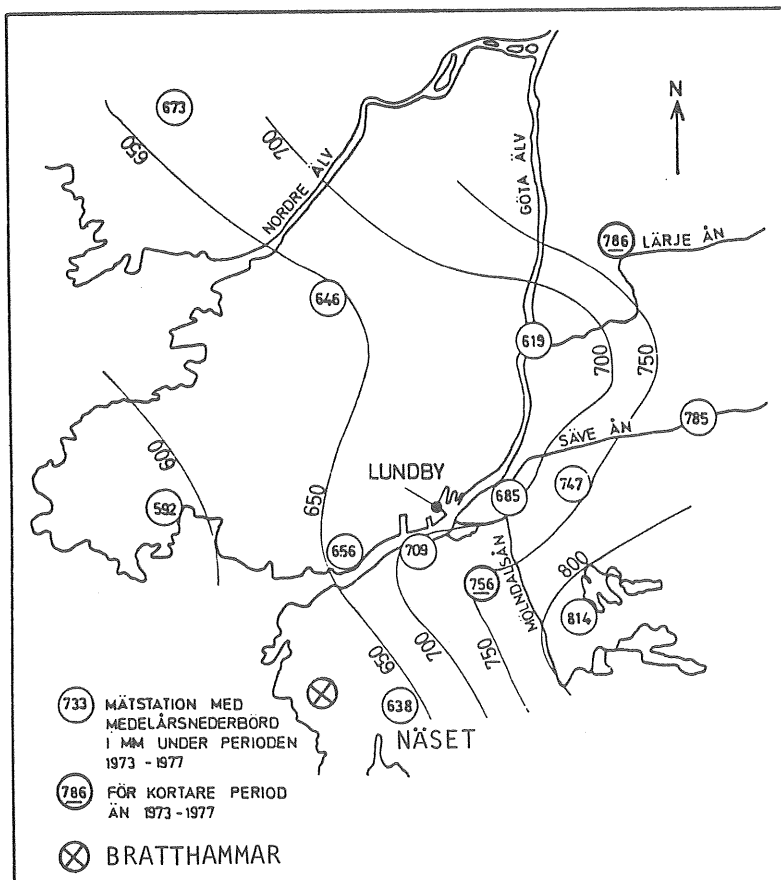
##### 4.2 Årsnederbörd, månadsnederbörd

För att kunna bedöma mätvärden från en nederbördsstation krävs en jämförelse med data av längre eller kortare



tidsserie från en närliggande station. Beroende på tids-  
seriens längd varierar medelvärden och på grund av kli-  
matförändringar kan man ej säga att medelvärdet för den  
längsta tidsserien ger det säkraste jämförelsematerialet.  
Data från "Klimatdata för Sverige" (Taesler, 1972) an-  
vänds vanligen som referensmaterial. Som referensstation  
används här station Göteborg. Bratthammar är beläget  
nära kusten. Det kan därför vara av intresse att månads-  
medelvärden från stationen Vinga avviker med högst  
1 mm från stationen Göteborg, förutom för oktober då  
avvikelsen är 4 mm.

Förutom SMHI:s station Göteborg används även station  
Näset som referensstation. Här föreligger medelvärden  
för perioden 1973-1977 (Arnell och Asp, 1979). Vid  
SMHI:s bearbetningar räknas dygnet från klockan 07 till  
07 medan det för Bratthammar och Näset räknas mellan  
klockan 00 och 24. Nederbördsstationernas geografiska  
läge framgår av figur 2-4. I figur 2-5 redovisas må-  
nads- samt årsnederbörden för mätperioden.



Figur 2-4

Nederbördsstationer i Göteborg. Isolinjerna avser  
medelårsnederbörden i mm (ur Arnell och Asp, 1979).

Av figur 2-5 framgår att nederbördsmängderna är av samma storleksordning vid de båda stationerna i Bratthammar och Näset under den tid mätningarna pågick 1976. Årsnederbörden var liten, vid Näset ungefär 100 mm lägre än medelvärdet för perioden 1973-77 vid samma station och ca 170 mm lägre än för Göteborg 1931-61.

År	1976		1977		1978		1931-1961	1973-1977
mån	Bratt- hammar	Näset	Bratt- hammar	Näset	Bratt- hammar	Näset	Göteborg (SMHI)	Näset
jan		35.5	78.25	65.25	29.8	28.7	57.0	60.9
febr		19.6	42.75	31.9	14.8	12.0	39.0	25.8
mars		14.2	65.5	56.6	91.6	88.0	31.0	25.7
april		12.4	88.8	78.5	9.45	11.8	40.0	34.6
maj		43.3	36.9	36.9	13.8	12.7	39.0	34.9
juni		26.5	68.1	71.8	33.15	51.6	52.0	35.1
juli	36.6	38.6	72.95	69.2	35.1	41.5	84	55.6
aug	22.5	14.8	20.95	29.8	79.55	96.4	80	46.2
sept	83.8	92.5	89.6	86.1		125.2	80	97.3
okt	84.9	83.0	74.6	77.7		27.0	75	62.8
nov	87.15	88.2	114.0	113.2		69.7	66	91.3
dec	72.4	65.8	62.0	58.4		12.8	61	68.2
jämf. värde acc.	387.35	382.9			307.25	342.7		
års- neder- börd		582.9	814.35	774.35		577.4	704	638

Figur 2-5 Månads- och årsnederbörd i Bratthammar under mätperioden 760701-780831. Motsvarande värden för Näset under samma period. Medelvärden för Göteborg 1931-61.

1977 var årsnederbörden större än normalt, något högre i Bratthammar än vid Näset, ca 180 mm mer än medelvärdet för Näset 1973-77 och 110 mm större än för Göteborg 1931-61. Fram till dess mätningarna avslutades i Bratthammar i september, var nederbörden något mindre än vid Näset (35 mm).

Årsnederbörden var 1978 normal eller något mindre än normal, vilket i siffror innebär 60 mm och 120 mm mindre än medelvärdena för Näset 1973-77 respektive Göteborg 1931-61.

Årsmedelvärde för hela mätperioden kan sägas vara normalt, vid Näset ungefär lika med den för perioden 1973-77. Motsvarande värde för Göteborg är 70 mm större. Skillnaderna ligger inom marginalen för mätfel.

Sett till nederbördsfördelningen över året kan sägas att vintern och våren 1976 liksom sommaren var nederbördsfattiga, cirka 50 till 60% jämfört med Göteborg 1931-61, medan nederbördsmängderna under höstmånaderna var normala. Första halvåret 1977 var nederbördsrikt medan sommaren och hösten hade normala nederbördsmängder. Slutligen var vinter- och vårmånaderna 1978 nederbördsfattiga, små mängder i februari och april, dock mer än normalt i mars. Även maj, juni och augusti hade år 1978 små mängder.

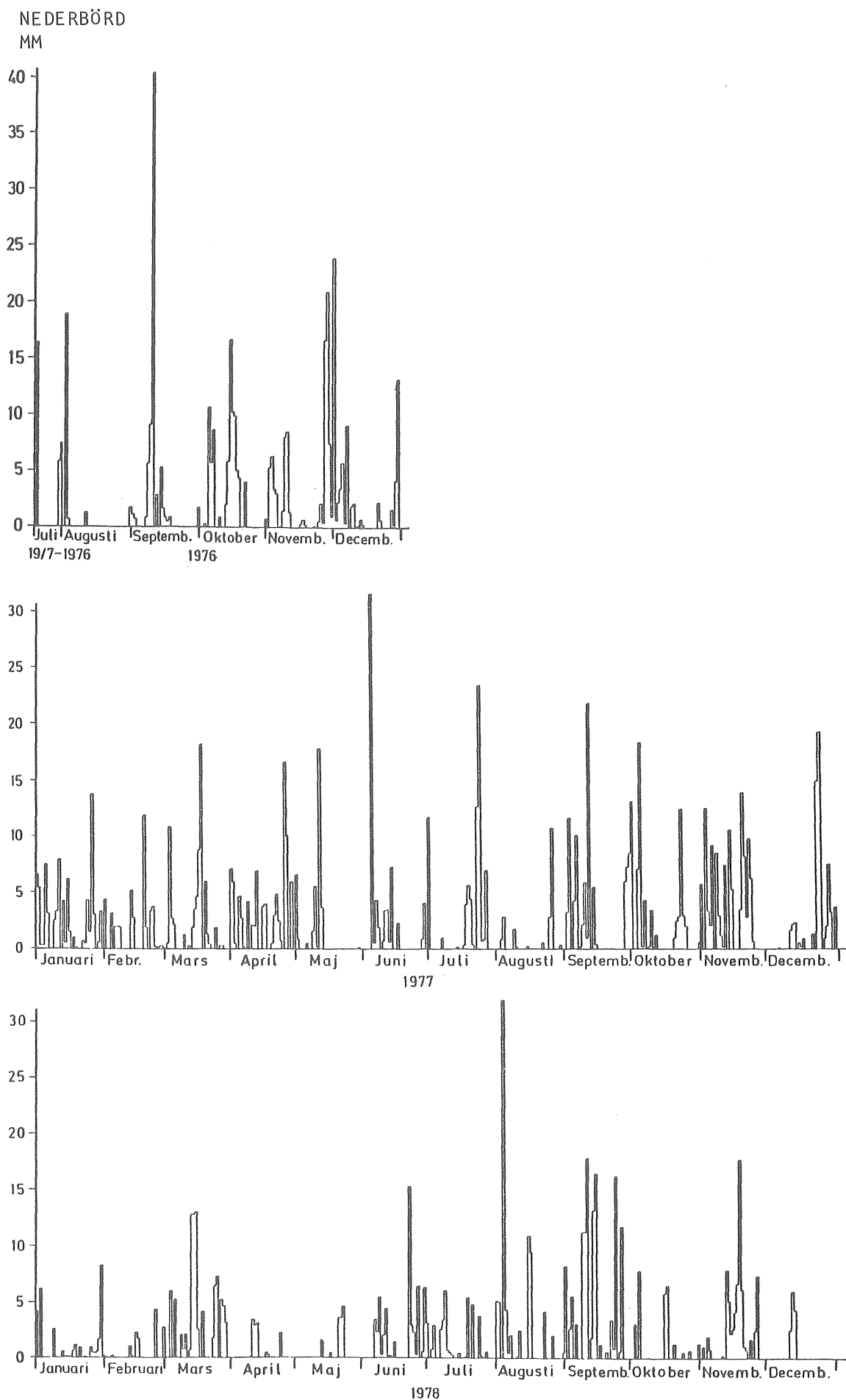
#### 4.3 Dygnsnederbörd

Dygnsnederbörden är uträknad mellan klockan 00 och 24 som tidigare nämnts och redovisas för mätperioden i form av stapeldiagram, se figur 2-6. För de tillfällen mätvärden saknas i Bratthammar redovisas här mätvärden från Näset. Diagrammen har förlängts till den 31/12-78 med nederbördsdata från Näset eftersom vissa mätningar pågick i Bratthammar fram till denna tidpunkt. Under perioden har vid följande tillfällen nederbörden varit större än 30 mm.

Datum	Nederbörd (mm)
10/9-76	40.4
5/6-77	31.5
4/8-78	31.9

30 mm nederbörd fördelat över 1 dygn är den nederbördsmängd för vilken perkolationsmagasinen i Bratthammar dimensionerats.

Vid sammanlagt 4 nederbördstillfällen har dygnsnederbörden varit mellan 20-30 mm och vid 38 tillfällen mellan 10-20 mm.



Figur 2-6

Dygnsnederbörd i Bratthammar under perioderna  
760719-761231, 770101-771231 och 780101-781231.

Under 2 dygn, den 23 och 24 december 1977 var sammanlagda nederbörden 34.4 mm och den 13-15 mars 1978 föll på 3 dygn 38.7 mm nederbörd.

#### 4.4 Häftiga regn

Nederbördssituationer med häftiga regn uppträder normalt under den varma årstiden och då ofta i samband med värmeåskväder. Bratthammars läge, cirka en kilometer från havet, gör att värmeåskväder många gånger ej avger nederbörd förrän det nått längre in i landet. Sommaren 1976 var nederbördsfattig och de nederbördssituationer som registrerats under 1977 och 1978 hade normalt låga intensiteter. I figur 2-7 redovisas regntillfällena med hög regnintensitet. Den statistiska händelsen är bestämd med hjälp av tabeller över matematiskt framtagna nederbördsstatistik vid SMHI (Dahlström, 1979).

DATUM	NEDERBÖRD		DELMÄNGD		
	total (mm)	DELMÄNGD (mm)	tid (min)	intensitet (l/s x ha)	återkomsttid (mån)
2/8-76	19.7	5.8	5	193	60
		9.4	12	130	24
10/9-76	19.7	4.5	5	142	3
		20.8	120	29	24
5/6-77	31.5	9.8	60	27	6
		10.2	120	14	3
23/6-78	15.3	4.5	5	150	12
		6.8	10	113	12
		9.1	60	25	6
4/8-78	31.9	3.4	5	113	3
		4.9	10	81	3
		12.7	60	35	12
		20.4	120	28	24

Figur 2-7    *Tabell över regntillfällena med hög regnintensitet.  
Registrering vid nederbördsstationen i Bratthammar.*

#### 4.5 Vintersituation

Nederbördsmätningarna sträcker över två vintrar. Under båda vintrarna har det rått vinterförhållanden, dvs mi-

nusgrader och snötäcke under för Göteborgsregionen relativt långa perioder. Nederbörd som fallit som snö, smälts och registreras som flytande nederbörd, vilket som tidigare angivits är förknippat med relativt stora felkällor.

Vintern 1976-77 kan anses ha inletts i mitten av december och varade sedan fram till 3 mars, dock med ett kortare avbrott under senare delen av januari, då det rådde blidväder.

Vintern 1977-78 uppträdde inte någon längre sammanhängande vintersituation förrän i början av februari. Denna varade fram till 24 februari. Dessutom var det under perioden 16-23 mars snötäcke och minusgrader.

## 5. REFERENSER

- Arnell V, Asp T, 1979. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, meddelande nr 44.
- Arnell V, Lyngfelt S, 1975. Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-74. Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH, meddelande nr 13.
- Dahlström B, 1979. Regional fördelning av nederbördsintensitet - en klimatologisk analys. Byggeforskningen, rapport R18:1979.
- Göteborgs VA-verk, 1977. Nederbörden i Göteborg 1976. Göteborgs VA-verk, projekterings- och utvecklingsavdelningen, årgång 4.
- Göteborgs VA-verk, 1978. Nederbörden i Göteborg 1977. Göteborgs VA-verk, projekterings- och utvecklingsavdelningen, årgång 5.

Göteborgs VA-verk, 1979. Nederbörden i Göteborg 1978.

Göteborgs VA-verk, projekteringsavdelningen,  
årgång 6.

Taesler R, 1972. Klimatdata för Sverige. SMHI och Statens institut för byggnadsforskning.

BILAGA 3

SID

## MAGASINSFUNKTION

Innehåll

1.	SYFTE	50
2.	ANLÄGGNINGENS UPPBYGGNAD	50
2.1	Geologiska förutsättningar	50
2.2	Vattenomsättning	51
2.3	Magasinens utförande	52
2.4	Avvikelser i magasinens utförande och funktion	55
3.	MÄTANORDNINGAR	56
3.1	Val av magasin för mätningar	56
3.2	Nivåmätningar	58
3.3	Flödesmätning	59
3.4	Övriga mätningar i anslutning till magasin	65
4.	KALIBRERING AV MAGASIN	66
4.1	Volymkalibrering	66
4.2	Avbördningskalibrering	69
5.	ANALYS AV MAGASINSFUNKTION	72
5.1	Inledning	72
5.2	Uppfyllnad vid verkliga regn	72
5.3	Avsänkingsförlopp efter verkliga regn	77
5.4	Avsänkingsförlopp efter artificiell uppfyllnad	79
5.5	Magasinens funktion vid bräddning	81
5.6	Utflöde från magasin till mark	84
6.	MAGASINENS KLIMATBEROENDE	87
7.	MAGASINSINVENTERING	90
8.	SAMMANFATTNING	96
9.	REFERENSER	97



## 1. SYFTE

Avsikten med dagvattenhanteringen i Bratthammarområdet är dels att åstadkomma flödesutjämning vid nederbörd, dels att förhindra uttorkning och portryckssänkning i undergrundens lerlager. För att uppfylla dessa mål har ett nätverk av perkolationsmagasin anlagts i området.

Inom forskningsprojektet har en rad olika undersökningar genomförts i Bratthammarområdet. Dessa har dels syftat till att klarlägga områdets förutsättningar i olika avseenden, dels till att bestämma vattenomsättningen och effekterna av perkolationsanläggningen. Magasinens funktion har avgörande betydelse för att den allmänna målsättningen med dagvattenhanteringen skall kunna uppfyllas. Undersökningar av olika faktorer som belyser magasinens funktion har därför haft central betydelse inom Bratthammarprojektet.

I denna bilaga redovisas först hur dagvattenhanteringen fungerar i området. Därefter beskrivs mätanordningar samt magasinens funktion med avseende på hydrauliska faktorer, lokala variationer i förutsättningarna, klimatpåverkan m m.

Ett mycket stort antal mätdata har insamlats under projektets genomförande. Redovisningen här kan av utrymmesskäl inte göras fullständig, varför vissa resultat endast redovisas i sammanfattad form.

## 2. ANLÄGGNINGENS UPPBYGGNAD

### 2.1 Geologiska förutsättningar

Bratthammarområdets geologiska förhållanden beskrivs översiktligt i huvudtextens avsnitt 2.2 samt i bilaga 1. Sammanfattningsvis utgörs området av en lerfylld dalgång omgiven av kala bergspartier. Dalgången har sin längdutsträckning i nord-syd och dalbotten lutar svagt åt söder.

Under matjorden finns gyttjehaltig torrskorpelera som nedåt övergår i mera ren, styv lera. Leran har en maximal mäktighet av ca 30 m. Mellan leran och berggrunden finns i allmänhet ett ganska tunt lager av friktionsmaterial. Jordlagerförhållandena framgår närmare av den ingenjörsgelogiska kartan i bilaga 1.

Före exploateringen hade dalgången utnyttjats som betesmark. Den var då gräsbevuxen med inslag av buskar och vass. Allmänt kunde området karakteriseras som försumpat på grund av dålig dränering och hög grundvattennivå. Trycknivån för grundvattnet i friktionsmaterialet under leran låg nära markytan och sprickvattennivån i lerans torrskorpa strax under markytan.

## 2.2 Vattenomsättning

Vid bebyggande av ett område skapas hårda, impermeabla ytor som gator, parkeringsplatser, hustak osv. Detta förändrar vattenbalansen så att den omedelbara avrinningen vid regn ökar. En större del av nederbördsvattnet kommer därför att lämna området som ytavrinning om dagvattenavledningen görs på konventionellt sätt. Följden kan bland annat bli sänkt grundvattennivå.

För att motverka effekterna av hårdgörningen har man börjat försöka att återföra så mycket vatten som möjligt till marken. Förutsättningen är att de koncentrerade flödena vid regn kan utjämnas eftersom markens infiltrationskapacitet i allmänhet är begränsad. Utjämnningen kan antingen ske på markytan och i de ytligaste jordlagren inom vegetationsklädda områden (ytinfiltration) eller i nedgrävda magasin i marken (perkulationsmagasin). I marken kommer vattnet antingen att perkolera nedåt och bilda grundvatten eller åter sugas upp och avdunsta via växtligheten.

I områden med högpermeabla jordarter är markens infiltrationskapacitet i allmänhet tillräcklig för allt vatten som tillförs. Består marken däremot av lågpermeabelt material som lera, vilket är fallet i Bratthammar, måste

någon form av dräneringssystem utföras. Dräneringssystemet kan både vara avsett att fungera som nödavlopp vid speciellt stora tillflöden och att kontinuerligt tappa av vatten när tillförseln är stor under längre perioder. Det senare är oftast fallet i s k utströmningsområden.

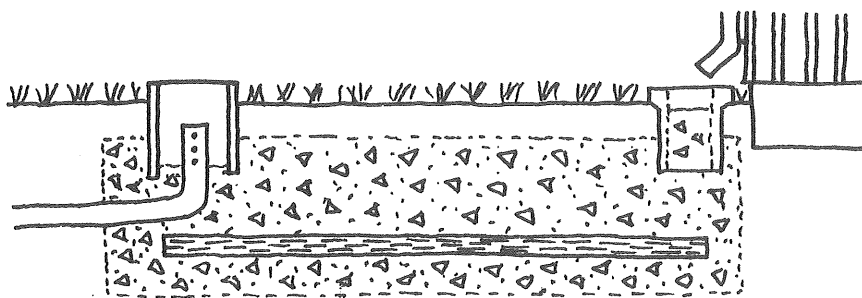
I Bratthammar består jordlagren av mycket tät lera. Dalgången var ursprungligen försumpad och kunde betraktas som utströmningsområde. Magasinen utformades därför konsekvent med bräddanordningar för att vid behov kunna fungera dränerande. Huvudsyftet med perkolationsmagasin är emellertid att motverka uttorkning av leran genom att tillföra vatten till torrskorpan och hålla en viss nivå på sprickvattenytan.

### 2.3 Magasinens utförande

Perkolationsmagasinen är utförda i lerans torrskorpa. Tre typer av magasin med samma principiella uppbyggnad förekommer:

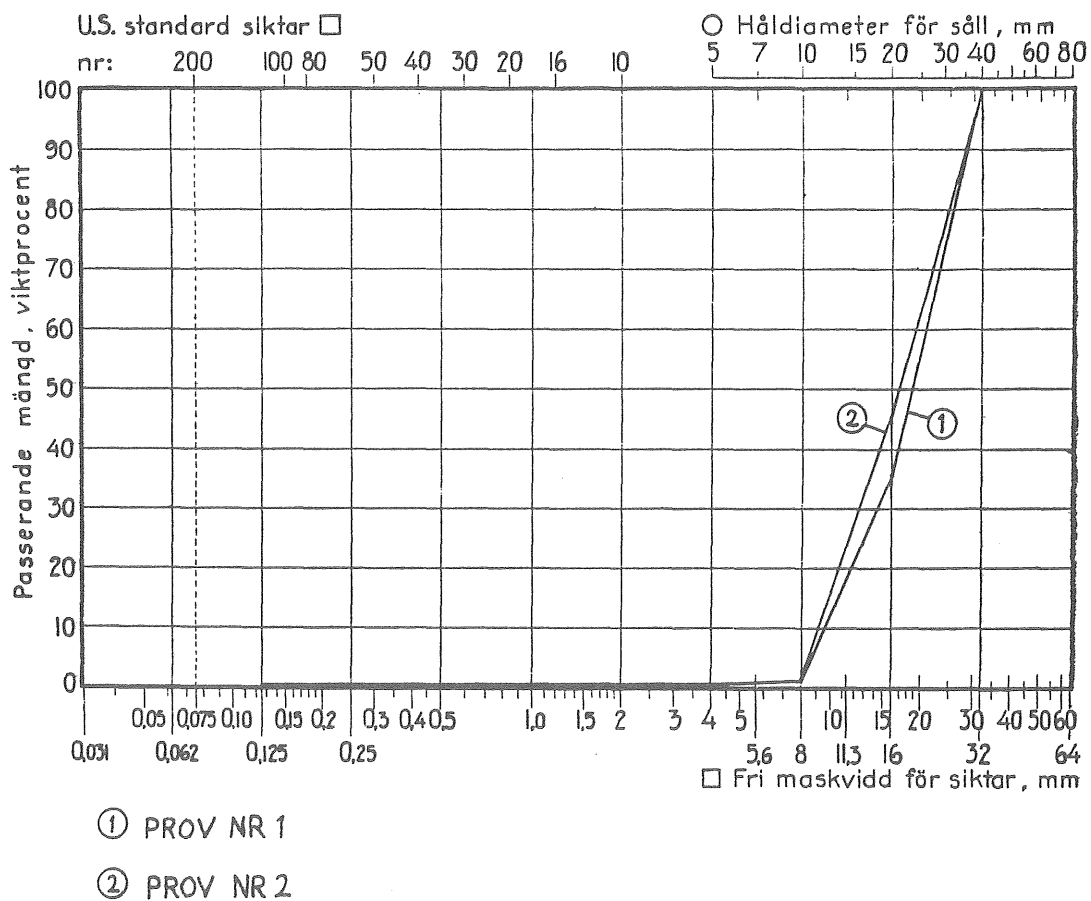
- Rörgravsmagasin i entrégatorna
- Separata magasin i trädgårdarna
- Separata magasin i parkeringsytorna

Magasinens uppbyggnad framgår av figur 3-1. En långsmal



Figur 3-1 Perkolationsmagasinens uppbyggnad.

schakt med återfyllnad av makadam 8-16 mm (se figur 3-2) utgör magasinvolym. Schaktdjupet är ca 80 cm eller lika med rörgravsdjupet och bredden mellan 70 cm och 6 m beroende på magasinstyl. Med avseende på avtappningsfunktionen kan magasinerna sägas bestå av två delvolymen. Då undre delvolymen är fylld börjar vatten brädda från magasinet. Den övre delvolymen utnyttjas därför främst vid större tillflöden och töms genom bräddning till dagvattennätet.



Figur 3-2 Magasinsfyllningens kornstorleksfördelning.

Makadamens effektiva porositet utgör tillsammans med effektiva porositeten i närmast omgivande jordlager den volym som kan utnyttjas för vattenmagasinering. På magasinshyllningen ligger justeringsgrus och asfalt eller

matjord. Magasinen är ej avgränsade med fiberduk eller annat filter mot omgivande mark. Vatten leds in i magasinen genom makadamfyllda betongrör som står i magasinsfyllningen. Brunnarna är placerade antingen under utkastare invid husgrunder eller i asfaltytornas lågpunkter. Som intag i parkeringsytorna fungerar makadamfyllda gräsarmeringsskivor lagda direkt på och längs hela magasinet. Skivorna fungerar samtidigt som gräns mellan två rader av parkeringsplatser. Utöver makadam finns inget filter i intagen.

För att underlätta jämn spridning av tillströmmande vatten ligger en fördelningsledning ca 10 cm från magasinsbotten. Om magasinsfyllningen i någon sektion blir igen-satt kan fördelningsledningen säkerställa magasinets funktion. Som fördelningsledning används Lubonyl 92/80 dränledning.

Eftersom jordlagren består av lera med liten vattengenomsläpplighet har magasinen försetts med bräddavlopp anslutna till dagvattennätet. Bräddningsanordningarna utgörs av vertikalt stående pvc-rör ( $\varnothing$  100 mm). Vattnet kan, då magasinet är helt vattenfyllt, brädda över rörets överkant. Denna högsta bräddnivå ligger ca 35 cm under markytan. Därunder sker en långsam avtappning av magasinerat vatten genom 3 stycken hål med 5 mm diameter placerade 5, 10 respektive 15 cm under rörets övre kant. Bräddavloppsröret är placerat i en brunn av betongrör ( $\varnothing$  400 mm) med tät förskruvad betäckning (rensbrunnsbetäckning). Brunnen möjliggör inspektion och rengöring av bräddanordningen samt även kontroll av magasinets funktion. Den undre magasinsvolymen, under nedersta bräddningshålet, kan endast avtappas till omgivande marklager. Beroende på magasinets terrängläge och läge i förhållande till anslutande ledningsgravar m m varierar denna "naturliga" avtappning. Under längre torrperioder töms några magasin helt medan andra ständigt tycks ha kvar vatten i sina lägsta delar.

#### 2.4 Avvikelser i magasinens utförande och funktion

Markarbeten för VA-anläggningar medför ofta avvikelser från det avsedda utförandet. I avsikt att rationalisera arbetet används maskiner i största möjliga utsträckning. En följd kan bli att maskinen bestämmer storleken av en schakt och inte de installationer som skall utföras. I lerområden eftersträvas ofta tät återfyllnad, men detta kan vara svårt att uppnå.

Vid analys av perkolationsmagasins funktion måste hela tiden förhållanden av angivet slag beaktas. Magasinens utförande kan avvika avsevärt från det förutbestämda.

I Bratthammarområdet har avvikelser identifierats på de studerade magasinerna. I exempelvis gårdsmagasinet M1 är magasinets volymen under nedersta bräddningshålet ganska liten men ökar sedan väsentligt ca 5 cm högre upp. Detta magasin har dessutom förbindelse med husdräneringen, vilket medför effektiv bräddning ca 4-5 cm under magasinets högsta avsedda bräddnivå. Husdräneringen är ansluten direkt till dagvattennätet.

Parkeringsmagasin M3 har vid uppfyllnadsförsök påverkat det intilliggande gårdsmagasinet M4. Sannolikt har vatten förts över genom "kanaler" uppkomna vid schakt- och fyllnadsarbeten snarare än genom torrskorpans naturliga spricksystem. Vid uppfyllnadsförsök erhålls visserligen större gradienter än normalt, men minsta avståndet mellan magasinerna är ca 20 m.

En inventering har genomförts för att kontrollera bl a vattennivån i samtliga magasin. Vid inventeringen konstaterades att några bräddavloppsbrunnar ej kunde påträffas. Detta kan antingen bero på övertäckning med asfalt, matjord, trädgårdsplattor osv eller att brunnarna ej utförts enligt ritningarna.

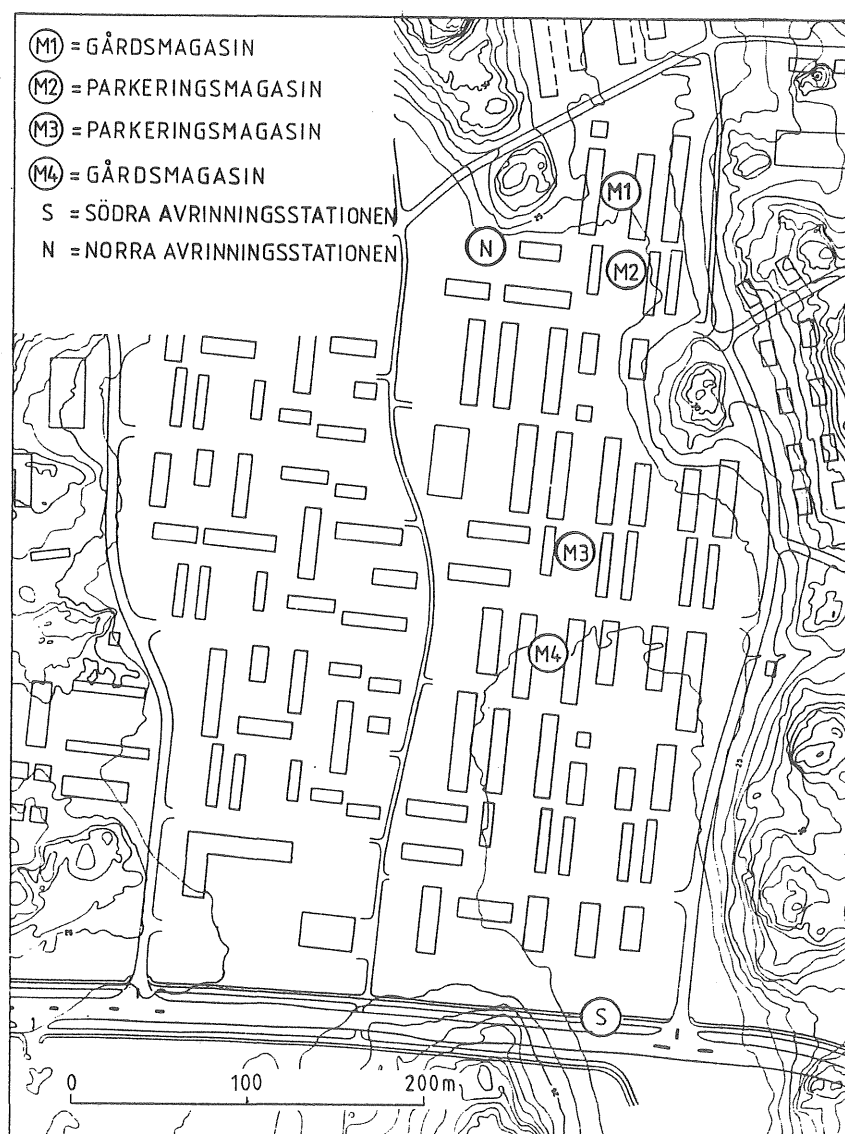
Bland de smärre funktionsfel som observerats kan nämnas igensättning av bräddningshålen med skräp och överspol-

ning i utkastarbrunnarna vid häftiga regn. Det senare kan motverkas dels med bättre renhållning i brunnarna, dels genom att en del av makadamen i brunnen tas bort. På så sätt undviks överspolning genom stänk.

### 3. MÄTANORDNINGAR

#### 3.1 Val av magasin för mätningar

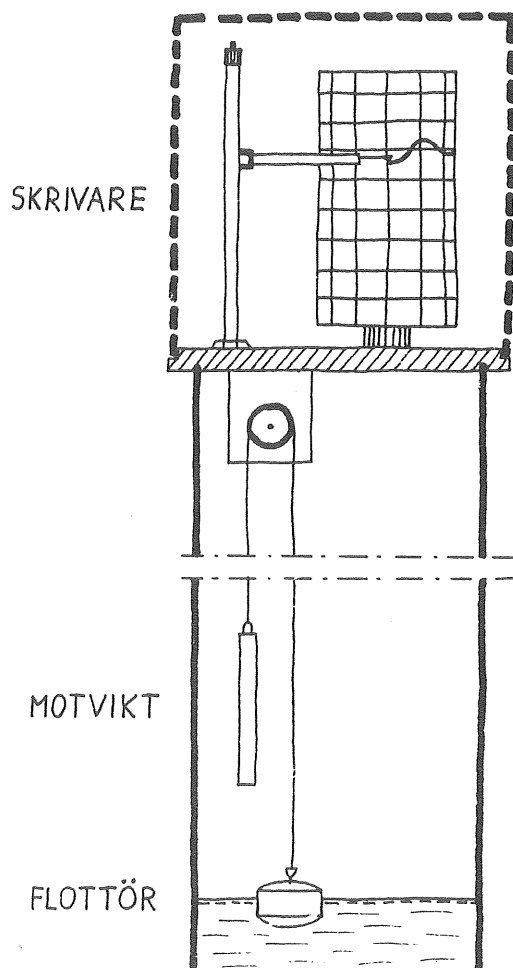
Observationerna av magasinens funktion koncentrerades till fyra magasin benämnda M2, M3 (parkeringsmagasin), M1 och M4 (gårdsmagasin), se figur 3-3. Observationerna



Figur 3-3 De observerade magasinens lägen i Bratthammarområdet.

i magasin M1 och M2 startades provisoriskt beroende av att byggandet i området inte fortskridit som planerat. Mätningarna genomfördes där med tämligen enkel utrustning. Magasin M3 och M4 valdes ursprungligen för detaljstudier av magasinsfunktion, men mätningarna kunde inte påbörjas förrän denna del av området iordningställdes.

Lokaliseringen av mätningarna till magasinerna M3 och M4 bestämdes av de geologiska förutsättningarna. Magasinen ligger sålunda i den centrala delen av dalgången där leran är mäktigast och har tunnast torrskorpa. Det ansågs nämligen angeläget att undersöka hur magasinerna skulle fungera i den sämst dränerade delen av det som helhet ganska våta Bratthammarområdet. Genom mätningarna i magasin M1 och M2 har även förhållanden närmare dalsidan kunnat belysas. Ytterligare information om inverkan av variationerna ifråga om förutsättningar på funktionen har erhållits genom översiktlig inventering av samtliga magasin.



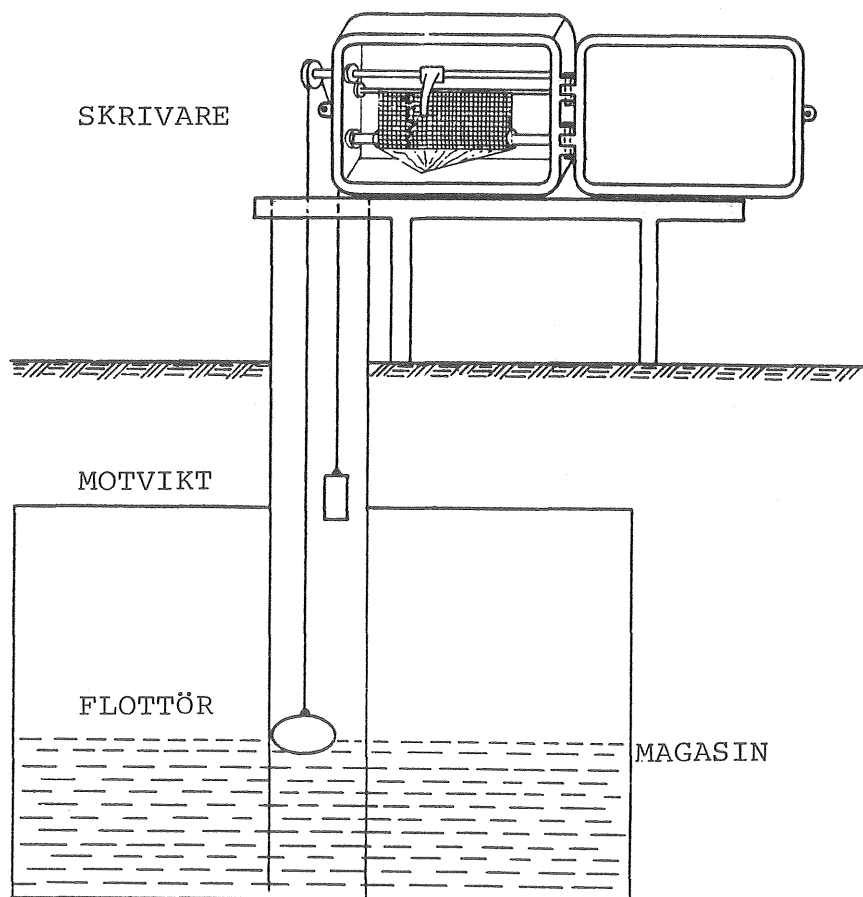
*Figur 3-4 Vattenståndspegel  
av SMHI-typ.*



### 3.2 Nivåmätning

Nivåmätningar avseende vattenytan i magasinen har genomförts med två typer av mätare. I de två norra magasinen (M1 och M2) har använts mekaniska vattenståndspeglar av SMHI-typ, se figur 3-4. Pappersframmatningen på peglarnas skrivare sker med en hastighet av 40 mm/dygn. Tillsyn av skrivarna har skett två gånger per vecka. I samband med tillsynen har gjorts manuella referensmätningar av vattennivån i magasinen. Dessa värden har senare noterats på pegeldiagrammen för att underlätta tolkningen.

I de två södra magasinen (M3 och M4) har vattennivån registrerats med mekaniska vattenståndspeglar av typ Ott, se figur 3-5. Pappersframmatningen sker på dessa skrivare med en hastighet av 480 mm/dygn. Tillsyn har skett med ca en veckas intervall.

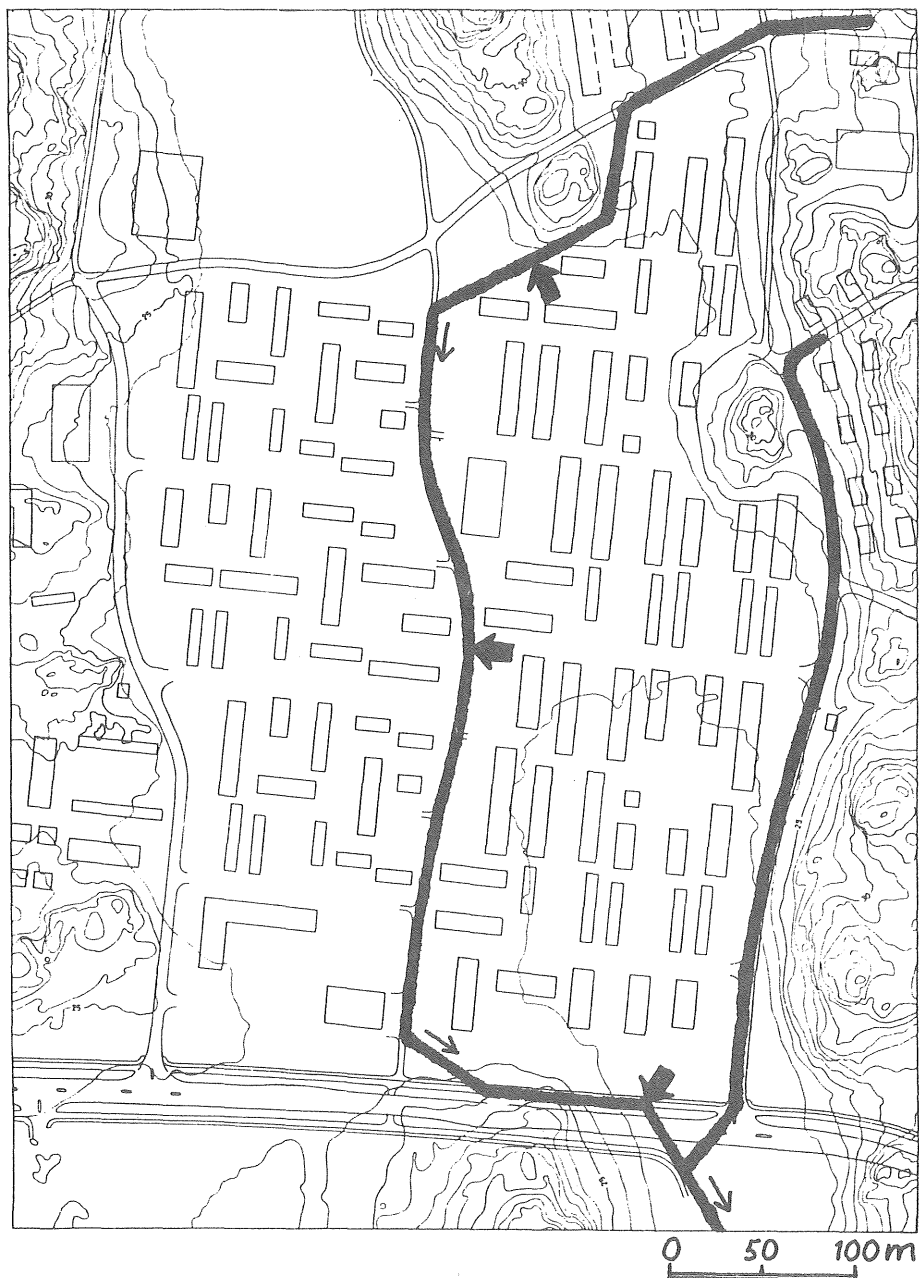


Figur 3-5 Vattenståndspegel av Ott-typ.

Vid bearbetningen har nivåregistreringarna omarbetats till lämplig skala för tolkning av magasinens uppfyllnads- och avsänkingsfunktioner.

### 3.3 Flödesmätning

Det interna dagvattensystemet i Bratthammar är anslutet i tre punkter till kommunens kulvert, vilken är dragen utmed områdets gräns i norr, väster och söder och med avledning mot söder, se figur 3-6. Med hänsyn till av-

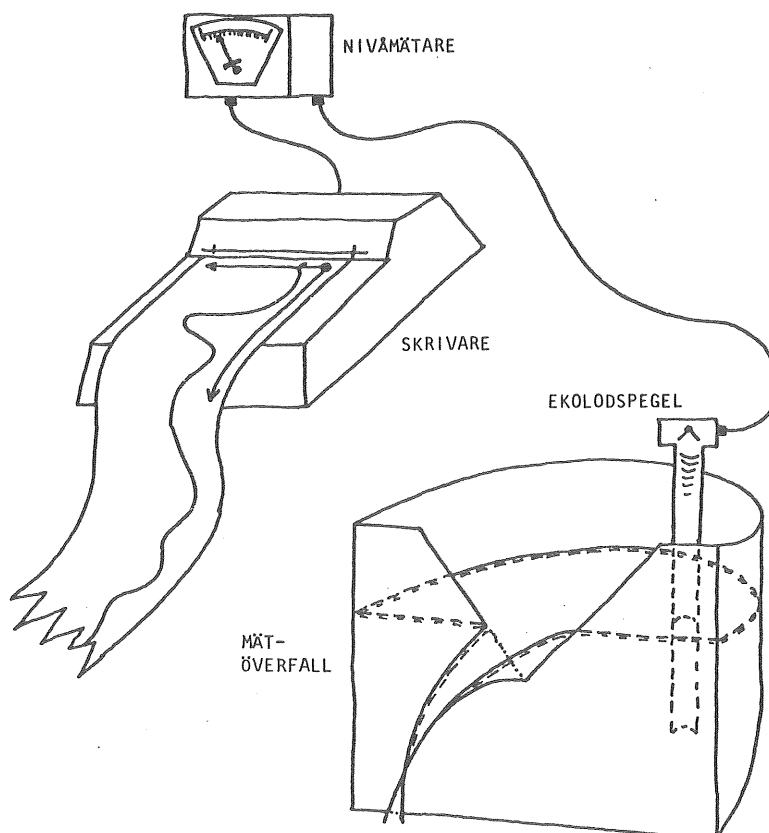


Figur 3-6 Dagvattensystemet i Bratthammarområdet.

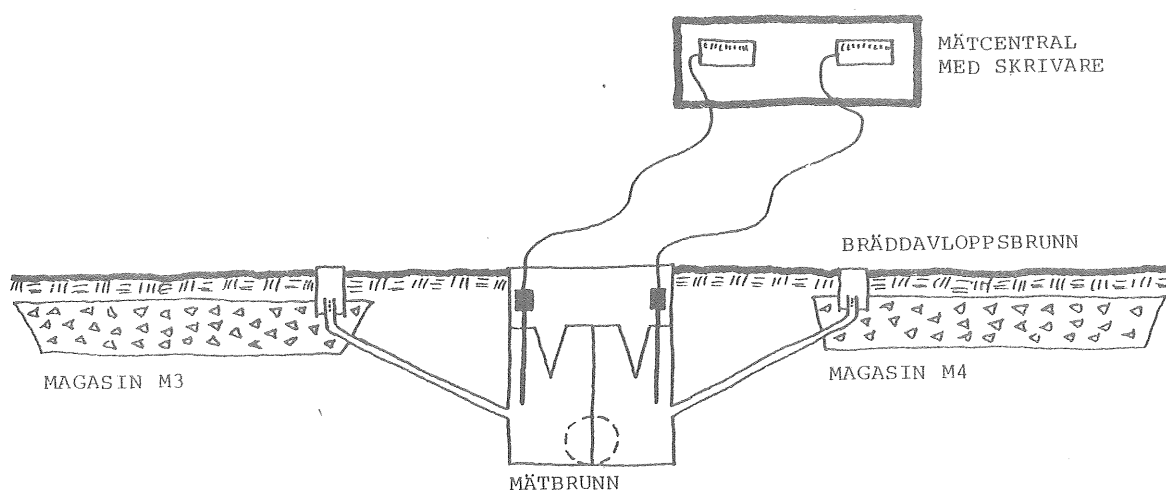
rinningen delas området därigenom i tre delar. Med undantag av några få asfaltytor avvattnas samtliga hårdgjorda ytor till perkolationsmagasin som långsamt avtappas till dagvattensystemet via perforerade, vertikalt stående rör i magasinerna. Husens dränering är ansluten direkt till dagvattennätet.

Flödesmätningar har utförts i fyra punkter under försöksperioden, i huvudservisanslutningarna för norra och södra delområdena samt i de lokala anslutningspunkterna för magasinerna M3 och M4. Mätstationen i södra huvudservisen har på grund av att området färdigställts sent endast givit registreringar under en begränsad tid.

Vid magasinerna M3 och M4 har förutom flöde samtidigt registrerats vattennivå, se avsnitt 3.2. Mätutrustningen har vid samtliga avrinningsstationer varit densamma, se figur 3-7. Vattennivån vid mätöverfallen registrerades

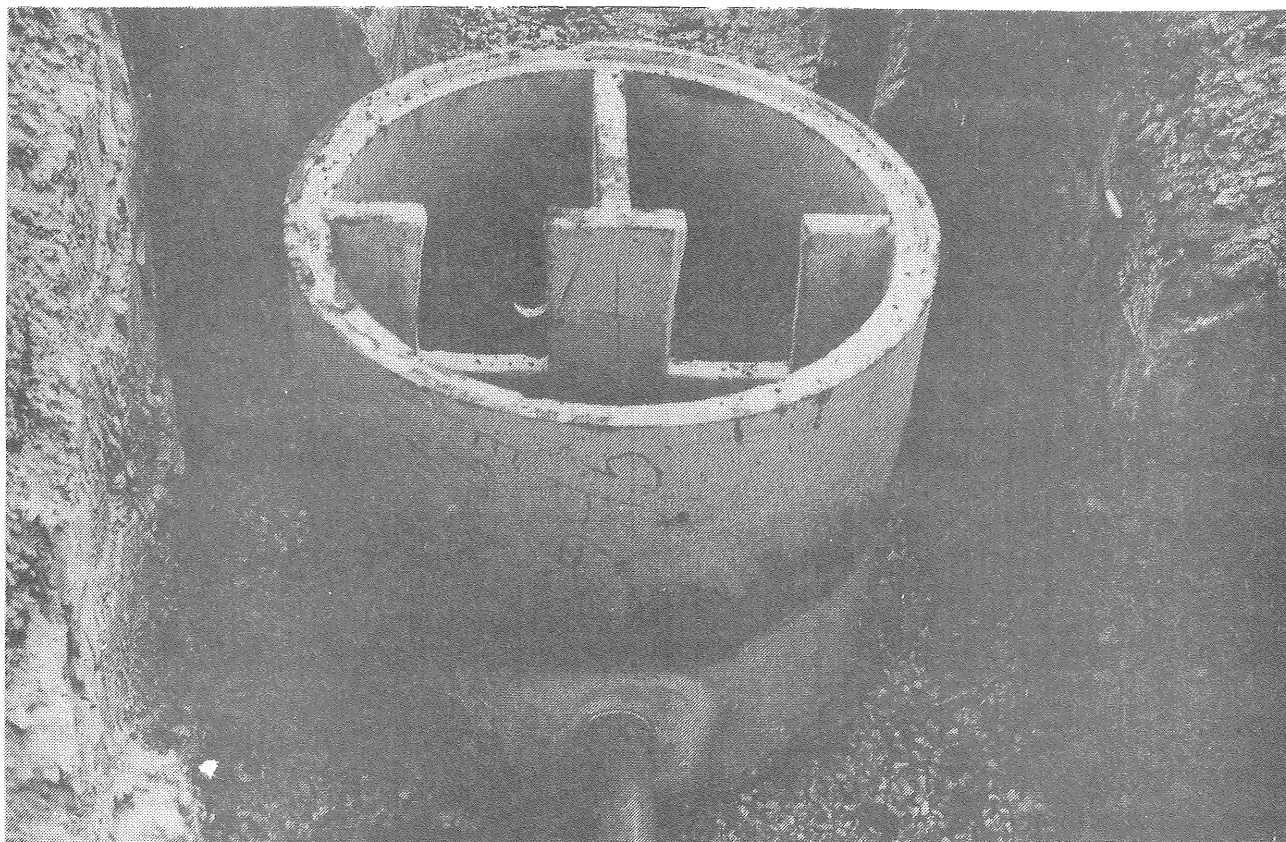


Figur 3-7 Utrustning för flödesmätning.

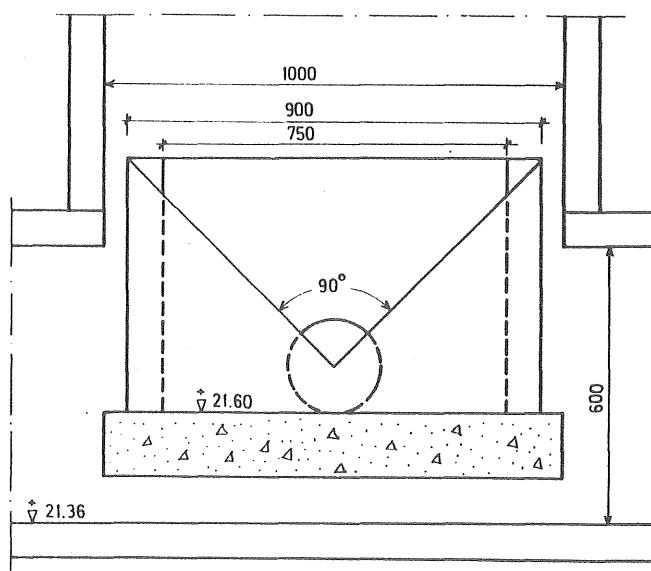
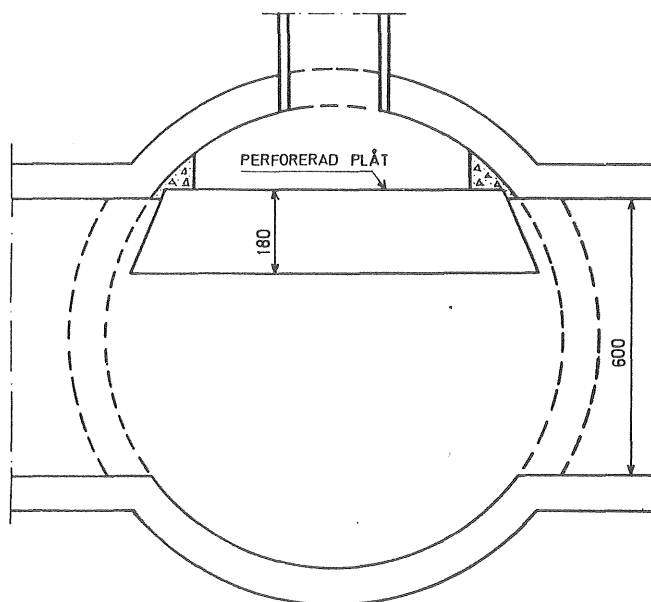
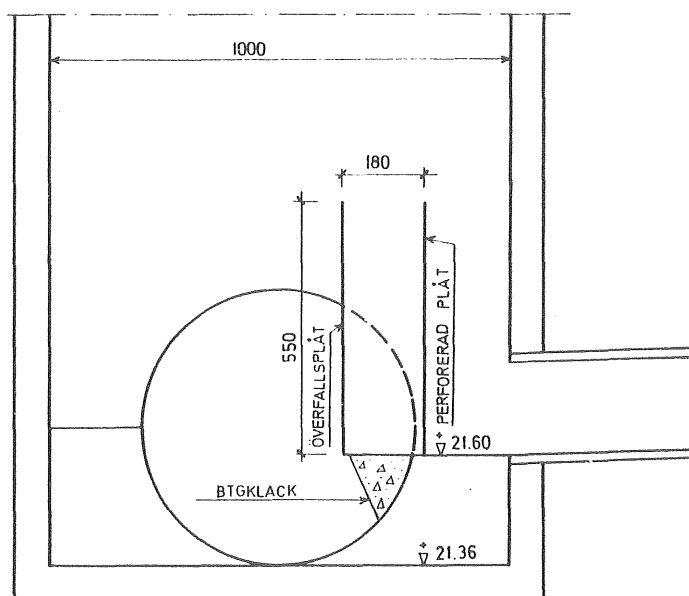


*Figur 3-8 Mätstation M3-M4.*

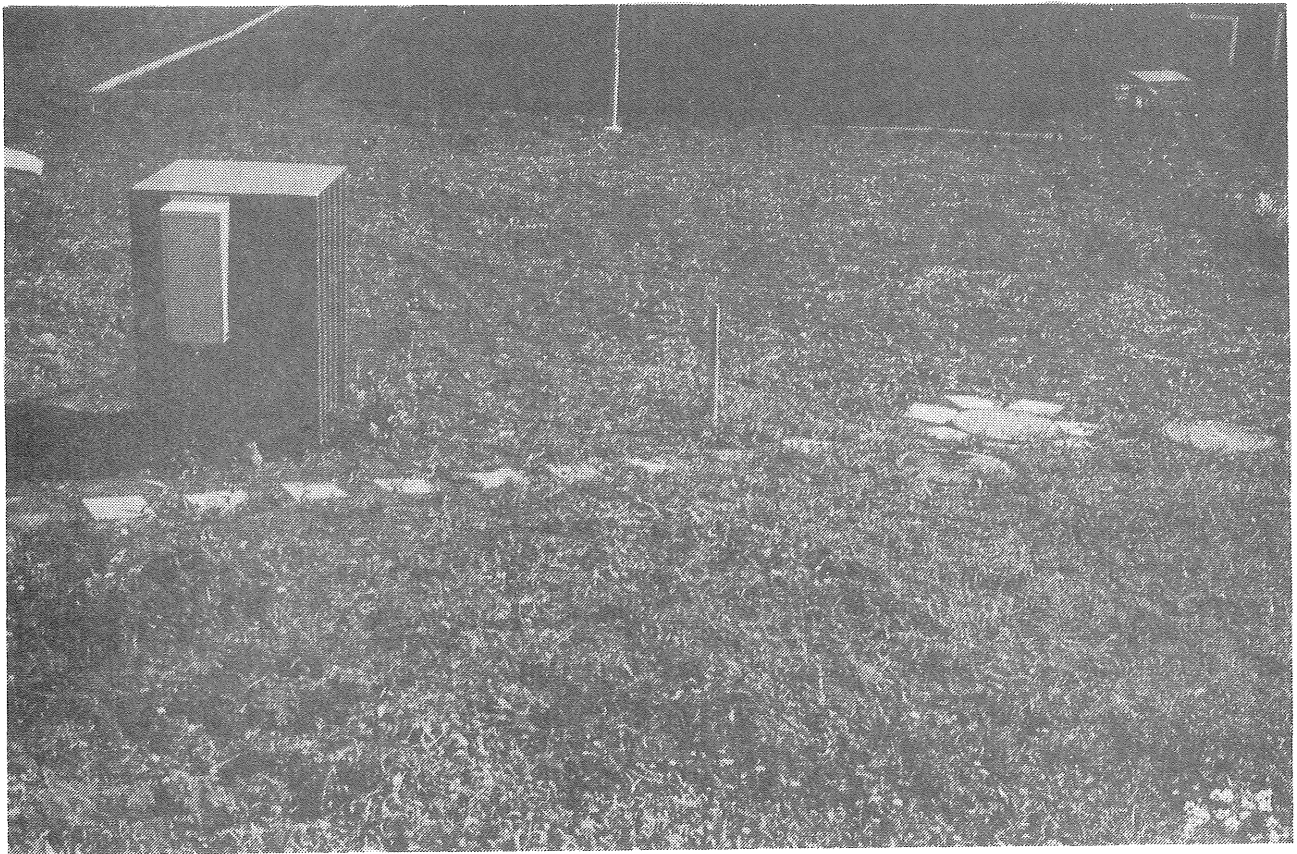
kontinuerligt med ekolod och signalerna överfördes till skrivare. Mätsektioner har installerats i befintliga nedstigningsbrunnar vid norra och södra avrinningsstationerna samt i speciellt tillverkade nedstigningsbrunnar vid magasinerna M3 och M4. Mätstationerna framgår av figur 3-8 till 3-11.



*Figur 3-9 Mätstation M3-M4 under byggnad. Foto: Per Lindvall*



Figur 3-10 Mätstation vid norra huvudservisen.



*Figur 3-11 Mätstation vid norra huvudservisen. Foto: Per Lindvall*

Nedan anges några data för mätutrustningen.

		vinkel	höjd
Mätsektioner:	Norra stationen	90 <sup>o</sup>	45 cm
	Södra stationen	90 <sup>o</sup>	45 cm
	Magasin M3	30 <sup>o</sup>	25 cm
	Magasin M4	30 <sup>o</sup>	25 cm

Ekolod: Fabrikat Deber

Nivåinstrument med utsignal 0-1 mA  
likström samt en ekoljudsgivare med  
inbyggd temperaturkompensering. Mät-  
noggrannhet 1% på maximala mät höjden.

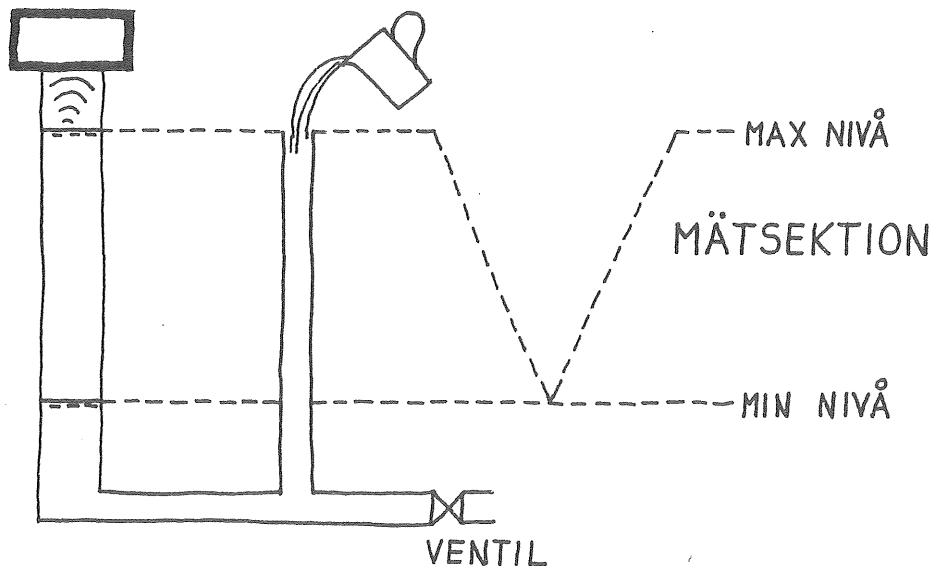
Ekolodet har utrustats med ett kalibreringsrör och en  
bottenventil för att förenkla kalibreringsförfarandet.

Skrivare: Fabrikat Linear

Enkanals potentiometerskrivare med  
likströmsservo. 250 mm pappersbredd.  
Hastighet: fullt mätutslag mindre än  
0.5 sek.  
Pappershastigheter: 6 cm/tim resp  
1.5 cm/tim.

Till skrivaren har vissa perioder anslutits en tidbas-generator som givit tidsmarkering med en timmes mellanrum på skrivarremsan. Denna utrustning har endast fungerat tidvis. Förutom automatisk tidsmarkering har datum och tid angivits vid varje servicetillfälle, normalt en gång i veckan. Instrument och skrivare har vid norra och södra stationerna varit monterade i vintertid uppvärmda mätskåp medan vid magasinen mätutrustningen kunnat inrymmas i gaveldelen av en garagebyggnad, som normalt fungerar som elcentral.

EKOLOD



Figur 3-12 Kalibreringsutrustning för pegel.

Flödesmätarna har kalibrerats med jämna intervall. Detta sker genom att vattenspegeln bakom mätöverfallet anpassas till överfallsspetsen. För den då erhållna mätsignalen anpassas skrivarpennan till 0 på diagrampapperet. Därefter stängs bottenventilen på pegelröret och vatten fylls till bräddnivån (lika med maxnivån för mätsektionen). Den nu erhållna signalen anpassas till 100% mätutslag för skrivarpennan. Förfarandet upprepas tills både 0 och 100% anpassats. Den erhållna registreringen visar fyllnadshöjd över överfallsspetsen i procent av mätsektionens höjd och kan sedan omräknas till flöde. Kalibreringsutrustningen för pegeln framgår av figur 3-12.

#### 3.4 Övriga mätningar i anslutning till magasin

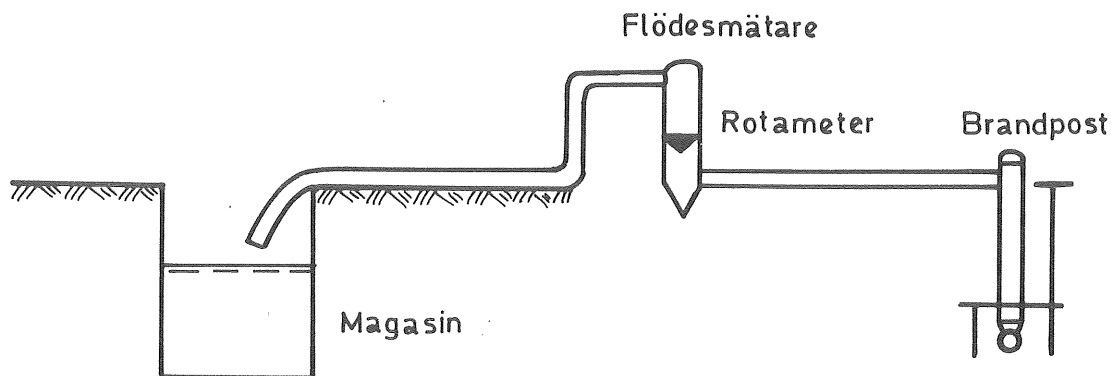
Förutom de i avsnitt 3.2 och 3.3 beskrivna nivå- och flödesmätningarna har direkt i magasinerna genomförts temperaturmätningar och bestämningar av magasinens volym. Dessutom har i magasinens omgivningar genomförts andra typer av mätningar.

Undersökningarna i Bratthammar sträckte sig över två vinterperioder. Det föll sig därför naturligt att kontrollera vilken inverkan låga temperaturer hade på magasinerna. Temperaturen mättes med kvicksilvertermometer dels i magasinerna, dels i omgivande mark normalt 1 gång per vecka i december-mars åren 1976-77 och 1977-78. I magasinerna bestämdes temperaturen 5 cm under vattenytan och i marken 40 cm under markytan i ett plaströr i en vegetationsyta.

Magasinerna M1 - M4 har kalibrerats med avseende på magasinens volym. Dessa bestämningar som genomfördes sommaren 1977 har utförts på två sätt. Ej vattenfylldt magasin har fyllts med vatten från brandpost och fyllt magasin har tömts genom pumpning. I båda fallen mättes flödena



med rotameter och vattennivån i magasinet med pegel. Ut-rustningen framgår av figur 3-13.



Figur 3-13    *Utrustning för påfyllnadsförsök i magasin.*

Andra typer av mätningar har genomförts i magasinens om-givningar. Dessa mätningar avseende nederbörd, sprick-vatten, markvatten, portryck, sättningar samt grund-vatten redovisas i bilagorna 2, 4, 5, 6 och 7.

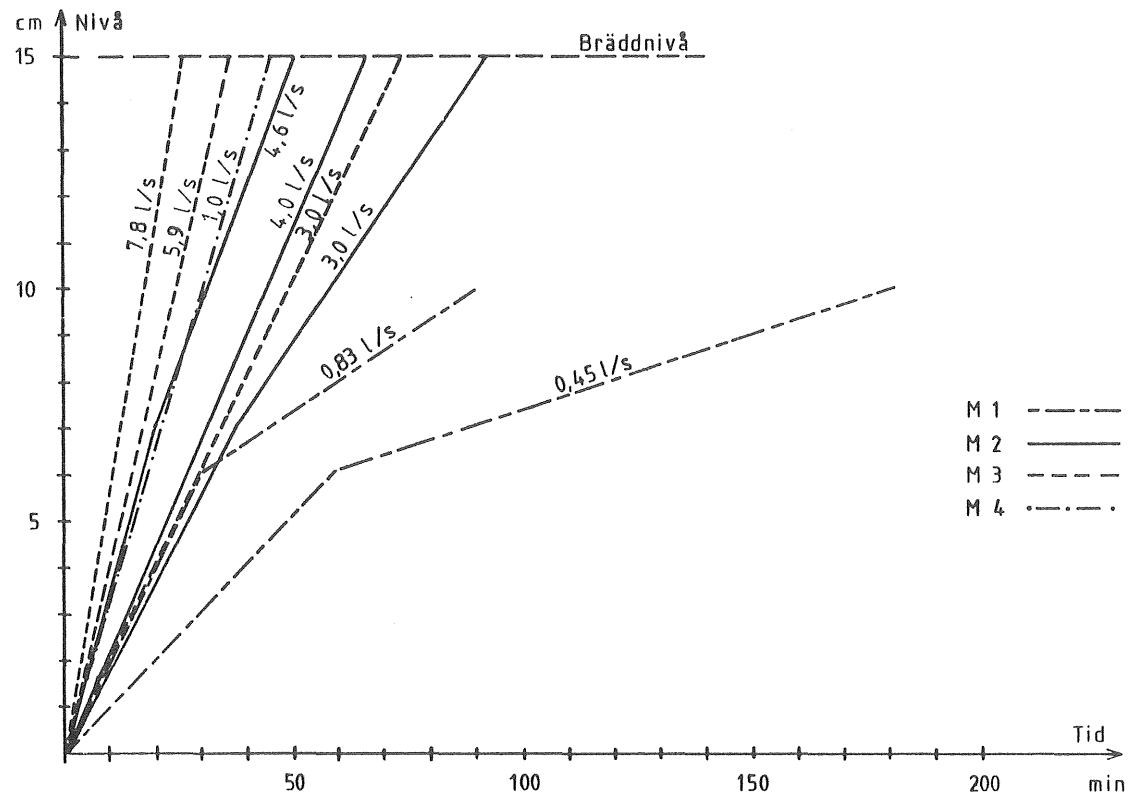
#### 4.            KALIBRERING AV MAGASIN

##### 4.1        Volymkalibrering

För att bestämma volymen i de detaljstuderade magasinerna M1 - M4, volymförändringen i magasinerna som funktion av vattennivån samt storleken av kontrollerad avtappning respektive läckage till omgivningarna, genomfördes som-maren 1977 ett antal urpumpnings-ifyllnadsförsök i magasinerna. Huvuddelen av dessa försök genomfördes inom ett examensarbete vid institutionen för vattenbyggnad (von Schantz och Vimby, under arbete). De praktiska ar-rangemangen har kortfattat beskrivits i avsnitt 3.4.

Volymkalibreringen avsåg den undre verksamma delen av magasinet, dvs nivåerna mellan nedersta dränhålet och bräddningsnivån. Denna omfattar normalt 15 cm men är i magasin M1 endast 10 cm beroende på läckage till hus-dräneringen 5 cm under bräddningsnivån.

Sammanlagda volymen i de olika magasinen framgår av nedanstående tabell. Den uppmätta volymen varierar med fyllnadstiden vilket beror på att olika mängder vatten hinner läcka ut i marklagren och genom dräneringshålen under fyllnadstiden. Uppfyllnadsfunktionen vid olika tillflöden framgår av figur 3-14.



Figur 3-14 Uppfyllnadsfunktion för magasin vid olika tillflöden.

Magasin	Tillförd vatten- mängd	Fyllnads- tid	Flöde x fyllnads- tid	Avtapp- ning till mark och ledning	An- märk- ning
nr	l/s	min	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	
M1	0,45	180	4,86	0,4	10 cm
M1	0,83	90	4,48	0	10 cm
M2	3,0	92	16,56	2,8	
M2	4,0	66	15,84	2,0	
M2	4,6	50	13,80	0	
M3	3,0	74	13,32	1,2	
M3	5,6	39	13,10	0,9	
M3	5,9	36	12,74	0,6	
M3	7,8	26	12,17	0	
M4	1,0	45	2,70	0	

Med ledning av uppfyllnadsförsöken har följande analys gjorts för funktionen hos magasinerna M1-M4.

Magasin\_M1 (norra gårdsmagasinet) visar ingen större förändring med fyllnadstiden. Avtappningen genom hålen uppgår för fyllnadstiden 90 minuter till 85 liter och för 180 minuter till 180 liter. Då uppfyllnadsförsöken utfördes under en längre torrperiod i maj månad bedöms en avtappning av samma storleksordning ha förekommit ut till de omkringliggande marklagren från magasinet då nivån var i närheten av läckagenivån till dräneringsledningen. Således bedöms magasin M1 ha en totalvolym av  $4,3 \text{ m}^3$  mellan nedersta och översta dräneringshålet.

Magasin\_M2 (norra parkeringsmagasinet) visar stor förändring av volymen med fyllningstiden. Avtappningen genom hålen varierar från 100-190 l i försöken medan avtappningen till mark under det snabbaste uppfyllningsförsöket bedöms vara av storleksordningen  $1,0 \text{ m}^3$ . Således bedöms magasinet ha en totalvolym av  $12,7 \text{ m}^3$ .

Magasin\_M3 (södra parkeringsmagasinet) visar en relativt stor förändring av volymen under fyllnadstiden. Avtappningen genom hålen varierar mellan 40 och 120 i försöken medan avtappningen till mark under det snabbaste uppfyllnadsförsöket bedöms vara av storleksordningen  $0,3 \text{ m}^3$ . Således bedöms magasinet ha en volym av  $11,8 \text{ m}^3$ .

Magasin\_M4 (södra gårdsmagasinet) bedöms ha den uppmätta volymen  $2,7 \text{ m}^3$  då uppfyllnadstiden endast uppgår till 45 minuter. Utläckage till mark förekommer endast när nivån är nära bräddnivån under torrperioder.

Av uppfyllnadskurvornas, figur 3-14, utseende framgår att magasin M1 ändrar volym vid nivån 9 cm under bräddnivån. Under denna nivå är volymen 250 l/cm medan den ovanför är 750 l/cm. Den stora volymökningen beror på att magasinet vid nivån 9 cm får tillgång till ett stort magasin utanför själva gårdsmagasinet.

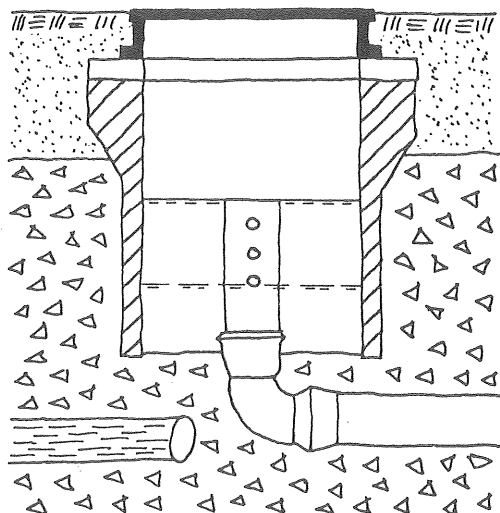
I magasin M2 kan en brytpunkt observeras vid nivån 8 cm under bräddnivån. Utvärdering av dessa kurvor visar att volymen under 8 cm är ca 800 l/cm medan den ovanför är ca 900 l/cm. Magasin M3 och M4 visar inga förändringar med nivån utan bedöms ha volymen 790 l/cm respektive 180 l/cm.

#### 4.2 Avbördningskalibrering

Avtappningen av vatten från magasinerna sker på tre sätt:

- Avtappning till omgivande mark där torrskorpans spricksystem och lednings- och kabelgravar möjliggör en horisontell spridning.
- Långsam avtappning till dagvattenledningar genom hålen i bräddningsröret.
- Bräddning till dagvattenledningar via bräddningsrörets överkant när magasinet är fullt.

Dessa tre avbördningsfunktioner måste bestämmas för att magasinens verkningsätt skall kunna analyseras. För att bestämma avtappningen till omgivande mark har avsänkingsförloppet studerats dels med bräddröret i funktion, dels med hålen i bräddröret blockerade, se avsnitt 5.5.



Figur 3-15 Bräddningsanordning för perkulationsmagasin.

För att garantera en långsam avsänkning av magasinen har som nämnts bräddrören försetts med 3 hål med diametern 5 mm, se figur 3-15. Avbördningen genom hålen kan bestämmas med formeln:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

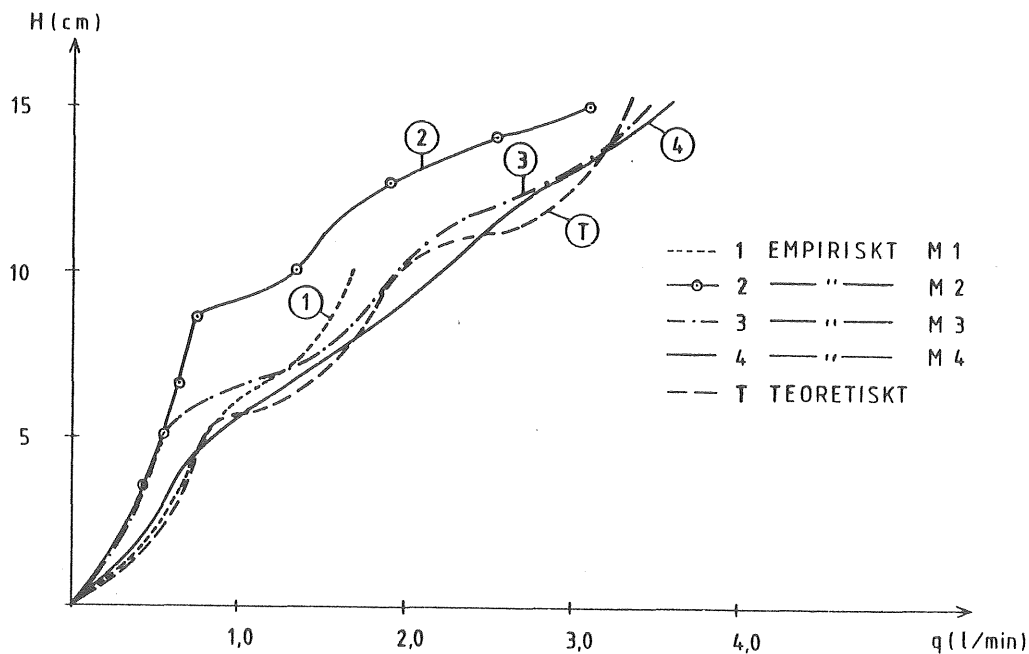
där  $Q$  = utflöde

$A$  = hålarea

$\mu$  = avbördningskoefficient

$h$  = vattendjupet över hålets centrum

Värdet på  $\mu$  varierar beroende på hålets utseende. Med  $\mu = 0,7$  erhålls för de tre hålen en avbördningsfunktion som redovisas i figur 3-16. Genom att mäta avbördningen genom hålen kan denna funktion också bestämmas empiriskt, se figur 3-16.



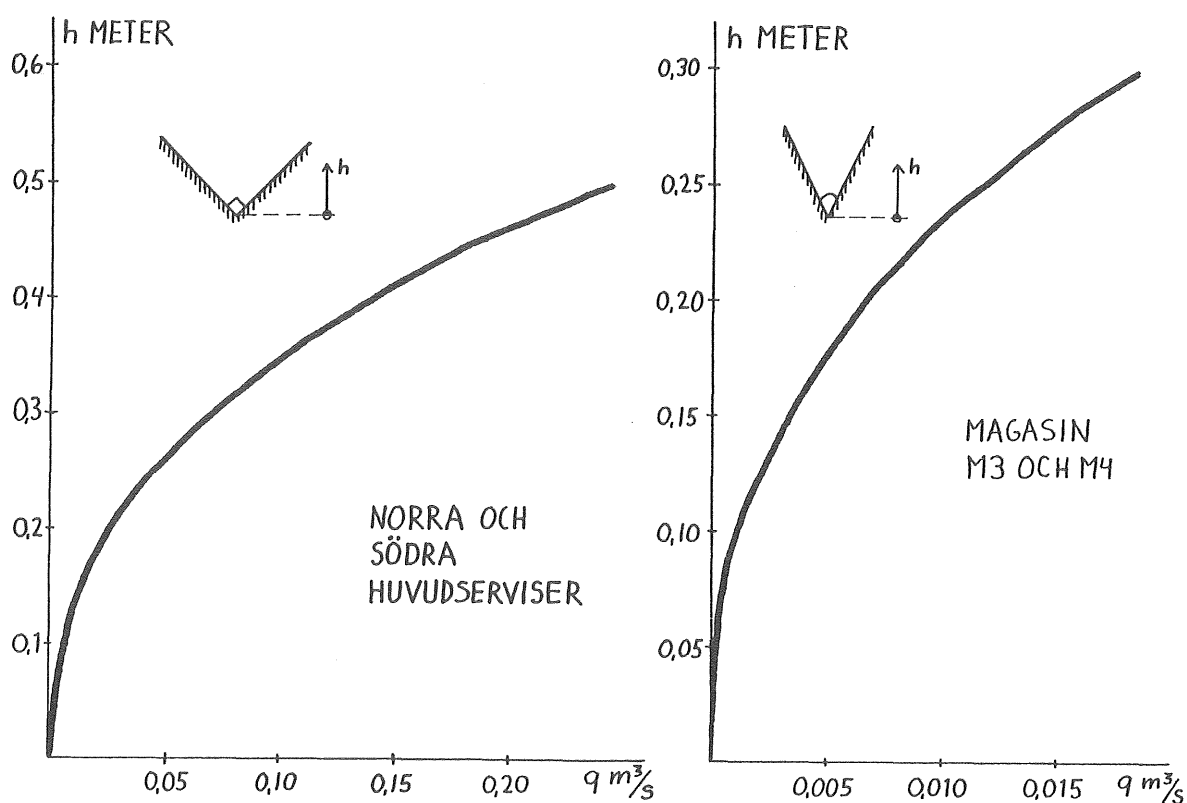
Figur 3-16 Avbördningsfunktion för avtappningshålen.

Slutligen kan avbördningsfunktionen för hela bräddavloppet bestämmas med hjälp av mätningarna vid mätöverfallen nedströms magasinen. Med känd bestämmande sektion i mätöverfallen kan flödet beräknas enligt formeln:

$$Q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2gh}^{5/2} \cdot \frac{\phi}{2}$$

där  $Q$  = flöde  
 $h$  = vattendjup över mätöverfallets spets  
 $\phi$  = mätöverfallets vinkel  
 $\mu$  = avbördningskoefficient

Figur 3-17 visar avbördningsfunktionen för mätsektionerna vid magasinen M3 och M4 samt vid de norra och södra avrinningsstationerna från delområden.



Figur 3-17 Avbördningsfunktion för magasin M3 och M4 samt södra och norra huvudserviserna.

## 5. ANALYS AV MAGASINSFUNKTION

### 5.1 Inledning

Magasinens totala förmåga att ta emot vatten varierar under året. Detta beror på att magasinerna kommunicerar med omgivande marklager. Förutom av regnets intensitet och varaktighet vid ett nederbördstillfälle bestäms därför nivåförändringarna i magasinet av de omgivande marklagrens tillstånd. Markvattenmagasinet i ett lerområde som Bratthammar beror av spricksystemen i torrskorpan. Dessa har störst volym under sommaren och mindre under hösten, vintern och våren då sprickorna delvis sväller igen.

Magasinens botten kan i allmänhet anses vara tät, vilket framgår av att helt torrlagda magasin endast undantagsvis har observerats sedan undersökningarna i området startade. Genomförda infiltrometermätningar (Suneson och Thorén, 1977) visar också mycket låg permeabilitet.

Analysen av magasinens funktion i följande avsnitt baseras på mätningarna i magasinerna M1-M4. De under mätperioden registrerade nivåförändringarna härrör från nederbördstillfällena som genomgående haft lägre intensitet och varaktighet än det dimensionerande regnet.

### 5.2 Uppfyllnad vid verkliga regn

De faktorer som bestämmer förloppet vid uppfyllnad av ett magasin i samband med nederbörd är:

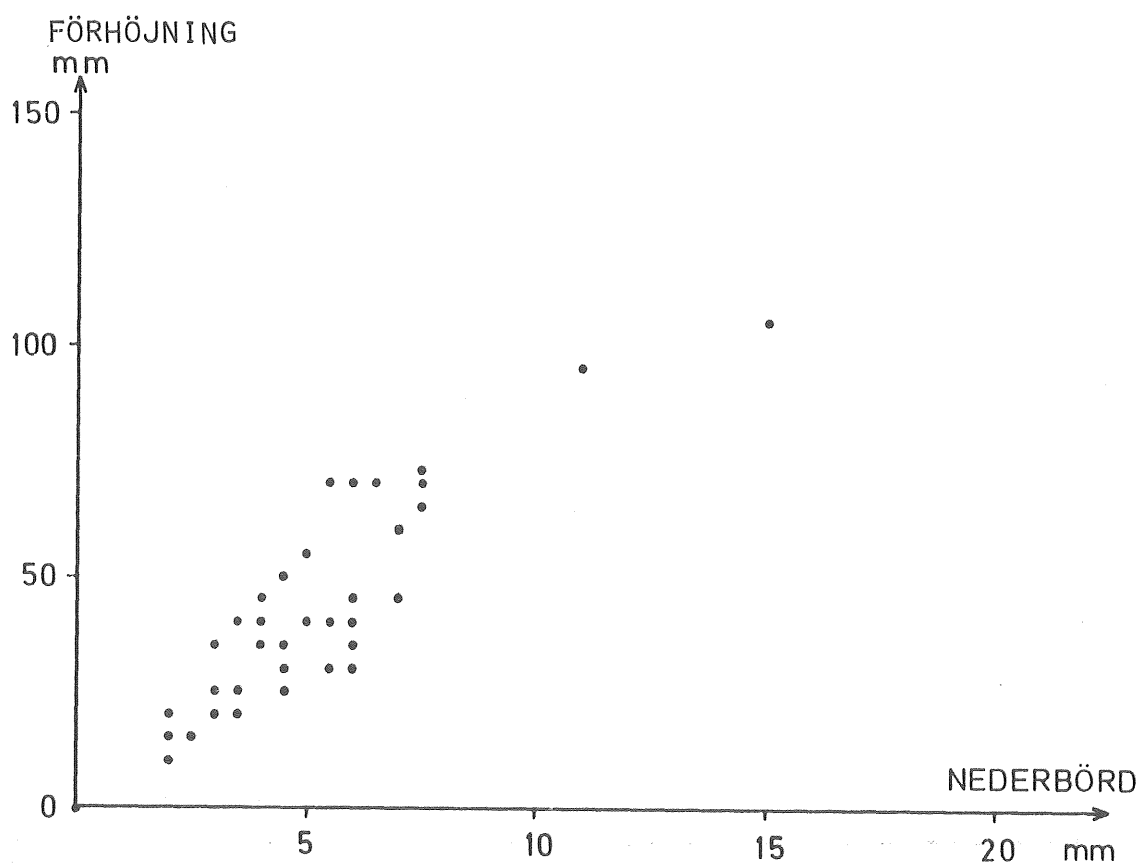
- Vattennivån i magasinet före nederbördstillfället
- Årstiden, eftersom infiltrationen i kringliggande mark varierar (högst under torra perioder, lägst under våta)
- Regnets karakteristik, intensitet och varaktighet

Exempelvis är vattennivån i magasinerna inte densamma vid begynnelsen av varje regn. Orsaken till detta är dels

det varierande tidsavståndet till föregående regn, dels den avsänkningsfunktion som gällt beroende av årstiden. Faktorerna kan inte separeras varför redovisningen gäller den sammanlagda effekten.

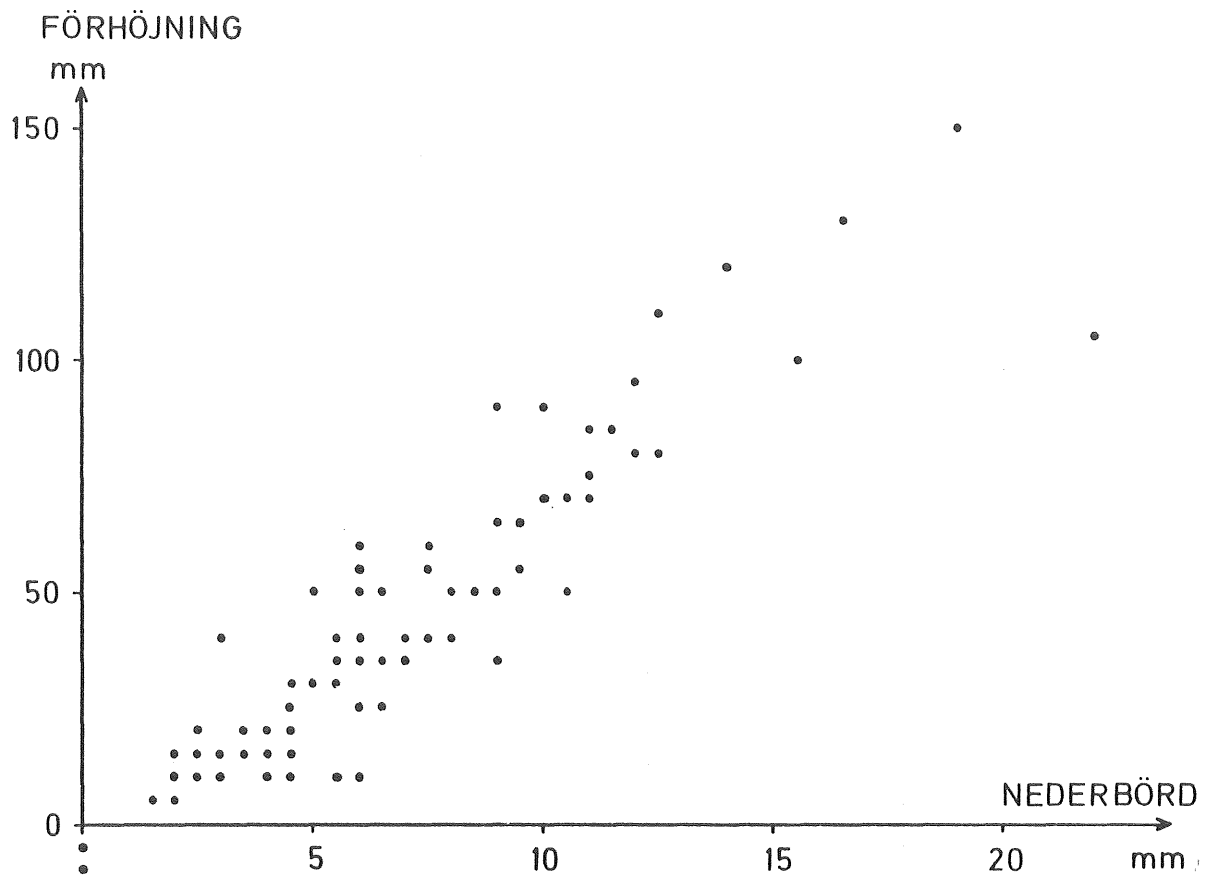
Uppfyllnadsfunktionen är inte linjär eftersom ingen av de ovan angivna faktorerna är linjär. Figur 3-18 till 3-21 visar uppmätta samband mellan nederbörd och nivåändring för magasin M1-M4 efter verkliga regn under observationsperioden.

Eftersom magasinens botten, som tidigare påpekats, är tät sprids vattnet endast horisontellt ut från magasinet vid påfyllning. Denna infiltration pågår hela tiden under ett regntillfälle. Tillgänglig sprickvattenvolym i magasinens närhet kan uppskattas som skillnaden mellan uppmätt volym vid regn och kalibreringsvolymen

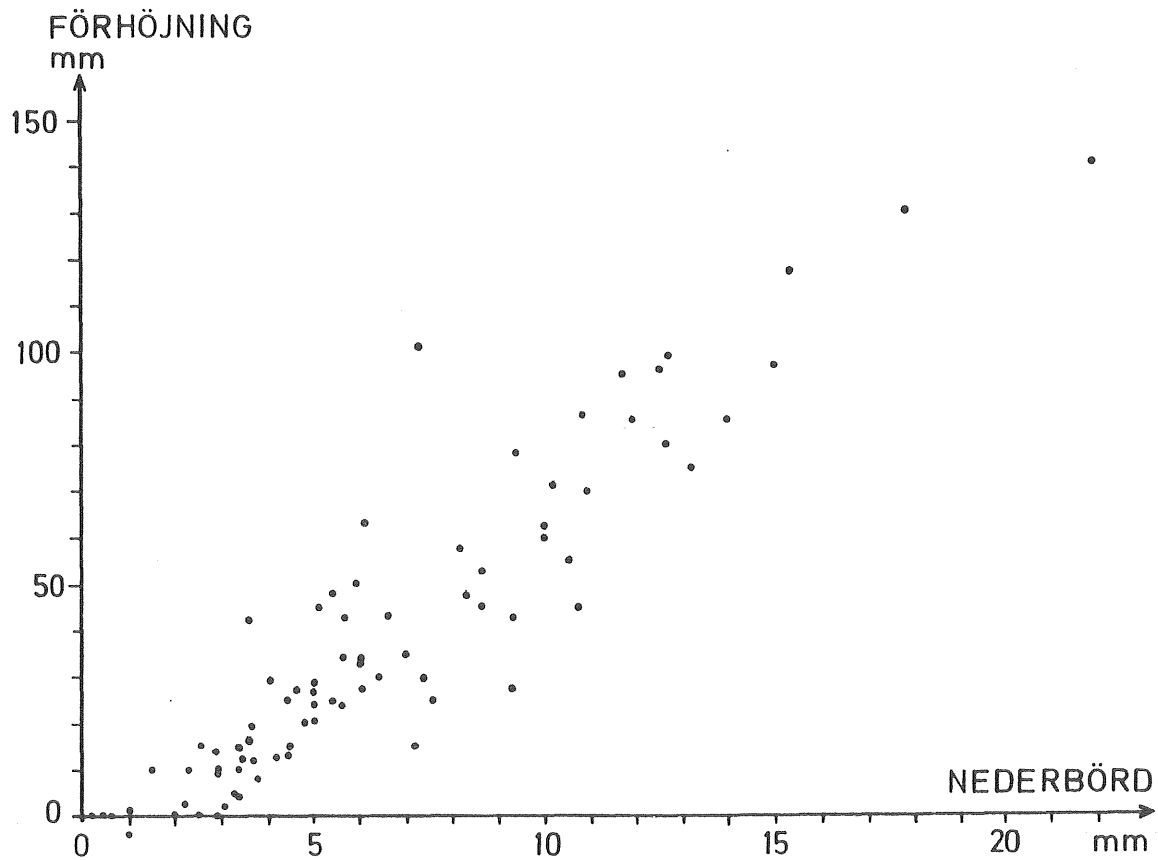


Figur 3-18 Uppfyllnadsfunktion för magasin M1 vid verkliga regn.

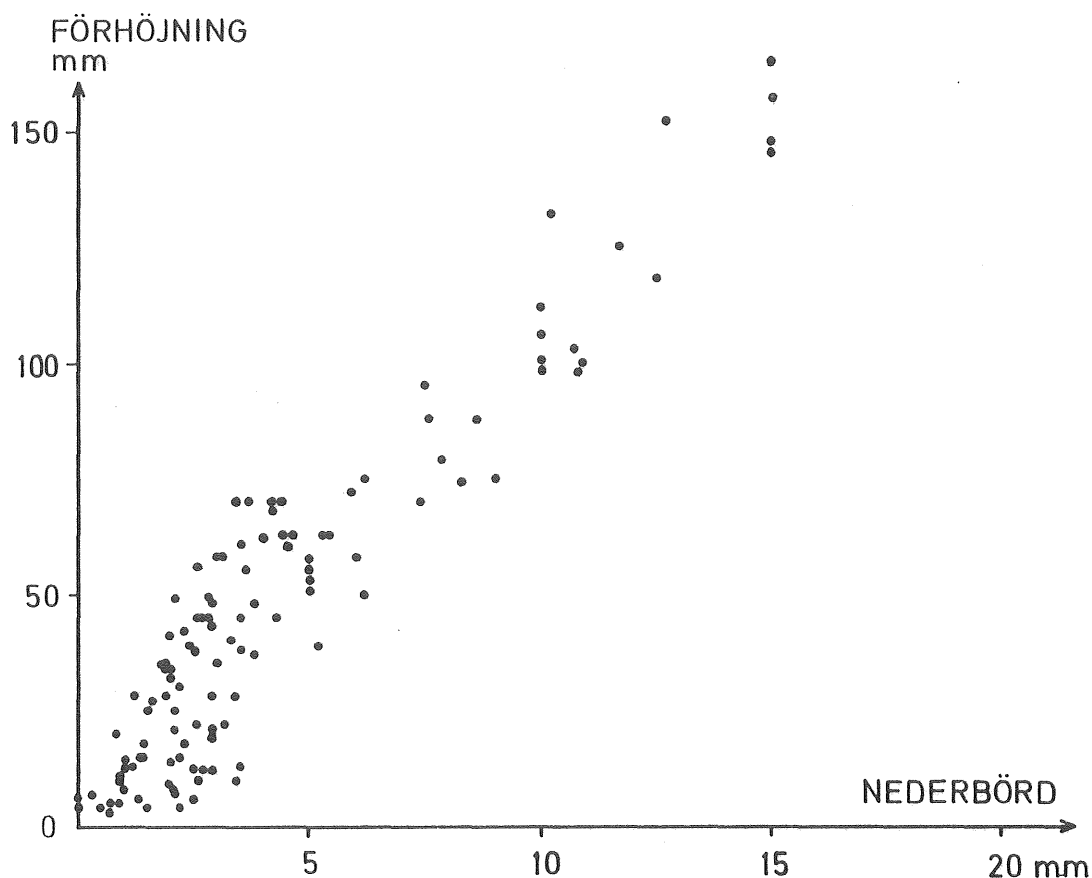




*Figur 3-19 Uppfyllnadsfunktion för magasin M2 vid verkliga regn.*



*Figur 3-20 Uppfyllnadsfunktion för magasin M3 vid verkliga regn.*



Figur 3-21 Uppfyllnadsfunktion för magasin M4 vid verkliga regn.

(se avsnitt 4). I tabellen nedan jämförs magasinsvolymen enligt diagrammen i figur 3-18 till 3-21 med kalibreringsvolymen som erhöles vid uppfyllnadsförsök.

Magasin nr	Kalibrerings- volym m <sup>3</sup>	Volym enligt diagram m <sup>3</sup>	Magasins- volym i marken m <sup>3</sup>	Volym i marken per m <sup>2</sup> ver- tikal yta m <sup>3</sup>
M1	4,3	6	1,7	0,1
M2	12,7	21	8,3	0,8
M3	11,8	19	7,2	0,8
M4	2,7	7	2,4	0,2

I den sista kolumnen har beräknats magasinsvolym i omgivande mark per m<sup>2</sup> vertikal begränsningsyta mellan magasin och mark.

Som framgår av tabellen ger omgivande mark ett betydande tillskott till den magasinvolym som är tillgänglig vid regn. Tillgänglig volym räknad per m<sup>2</sup> vertikal begränsningsyta är större för parkeringsmagasinen, något som bedöms bero på att leran under asfalten torkar ut effektivare. Totalt är emellertid tillskottet mera betydande för gårdsmagasinen beroende på att dessa har långsmal form, något som sålunda är önskvärt.

Variationen i magasinvolym kunde ha varit större än vad som framgår av uppfyllnadsförsöken. De intensivaste regnen, oftast åskskurar, uppträder vanligen när magasinen har störst mottagningskapacitet efter varma, torra högtrycksperioder under sommaren. I diagrammen, figur 3-18 till 3-21 ligger som regel punkter som representerar regn under våtperioder högre än dem som erhålls under torrperioder. Detta är mest uttalat i magasin M1, M2 och M4 men gäller också M3.

Av diagrammen i figur 3-18 till 3-21 framgår även att en viss minsta nederbördsmängd fordras för att vattennivån i magasinen skall påverkas. Den första nederbörden går åt till att väta ytorna och fylla smärre ojämnheter. Mängden varierar givetvis beroende av ytans struktur, lutning m m. Magasin M1 och M4 reagerar efter ca 0,5 mm nederbörd. Avrinningsytorna består här av betongtegel med 40% lutning. Magasin M2 och M3 reagerar efter 0,5-2 mm nederbörd från avrinningsytor som utgörs av asfalt med ringa lutning.

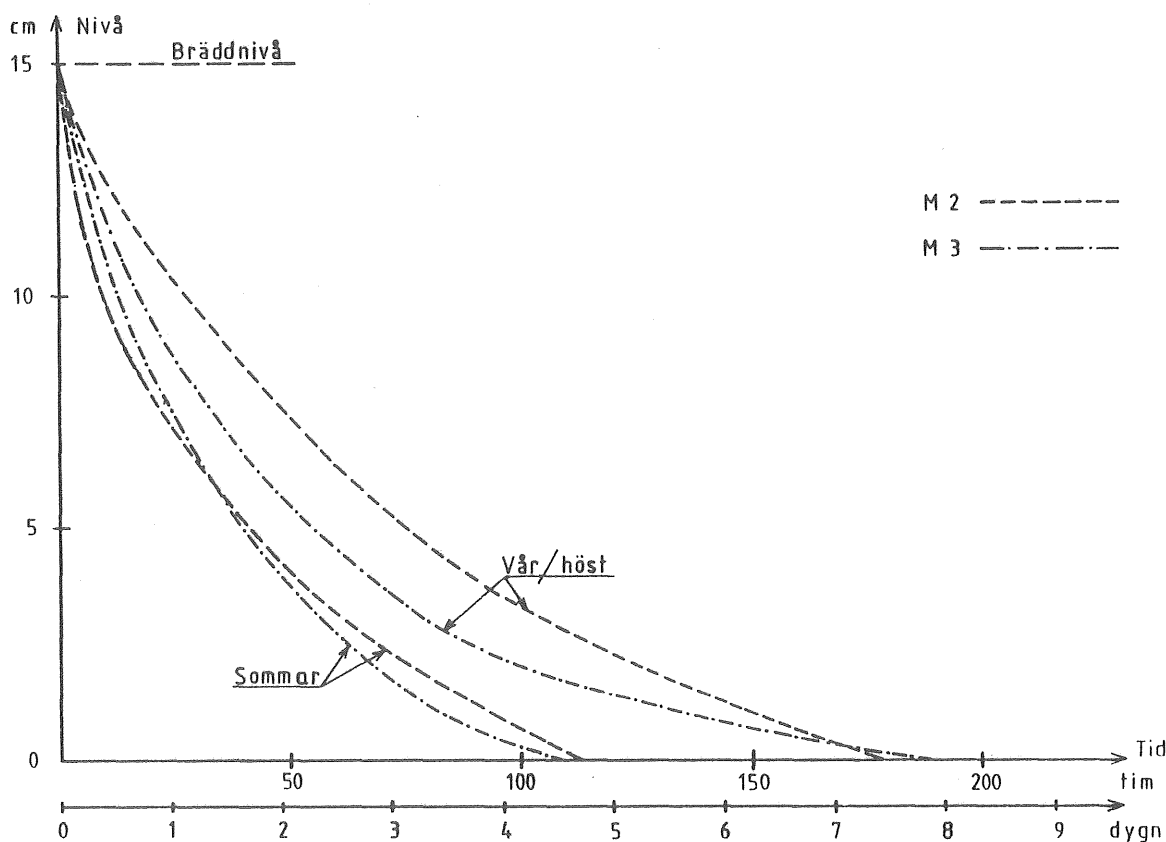
Att en avsevärd spridning av vatten från magasin till omgivande mark äger rum är ställt utom alla tvivel. Detta kan konstateras på flera olika sätt. Exempelvis kunde vid uppfyllnadsförsök i magasin M3 en påverkan på nivån i magasin M4 registreras. Det är emellertid svårt att exakt fastställa hur spridningen sker och vilken storlek den har i en viss punkt.

Till följd av spridningen till omgivande mark är magasinvolymen större än den teoretiska nettovolymen. Tillskottet varierar emellertid kraftigt och kan vara mellan 60 och 150%.

### 5.3 Avsänkingsförlopp efter verkliga regn

#### Parkeringsmagasinen

Vattenytans avsänkingshastighet i parkeringsmagasinen efter regn varierar under året med ca 100%, se figur 3-22.



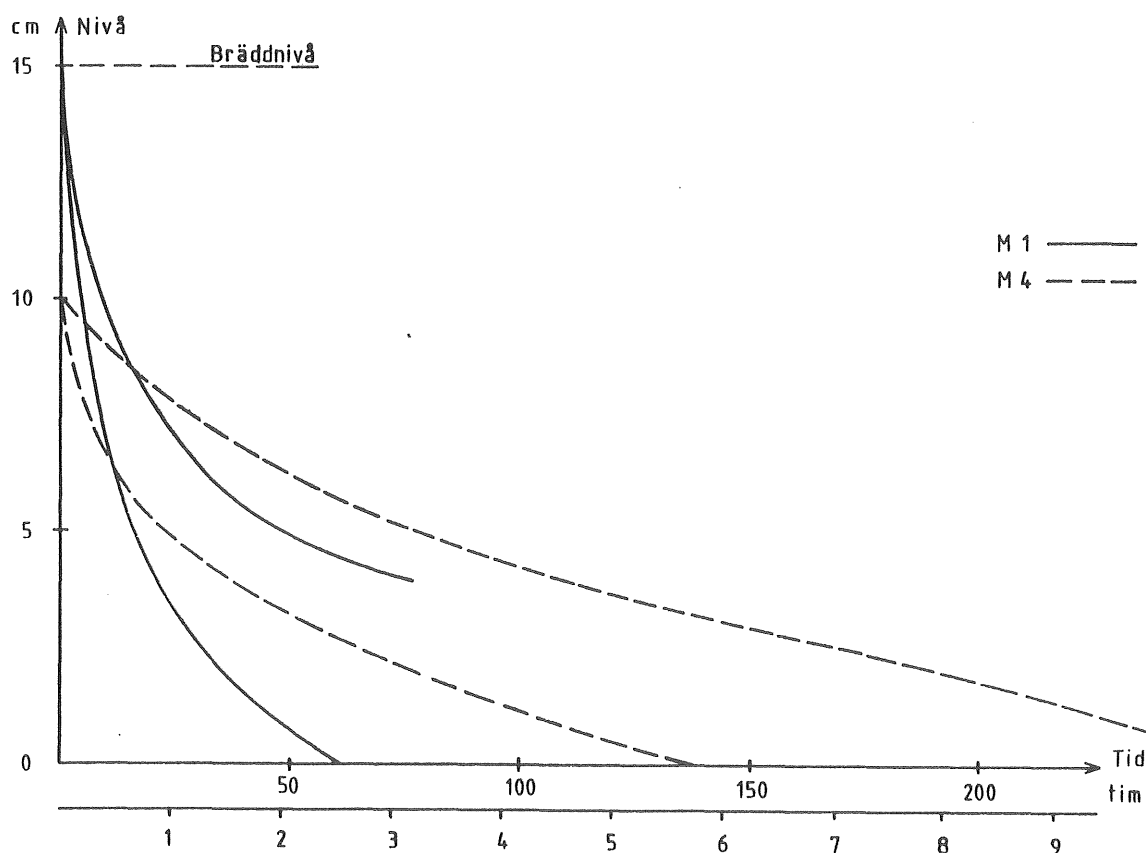
Figur 3-22 Avsänkingsförlopp för parkeringsmagasinen.

För den delen av magasinet som ligger mellan understa avtappningshålet och bräddnivån (sammanlagt 15 cm i höjd) tar avsänkningen sålunda  $4\frac{1}{2}$  dygn under sommaren och 7-8 dygn under våren och hösten. En närmare analys av avsänkingsförloppet i magasin M2 visar att avsänkningen mellan bräddnivån och översta dräneringshålet tar ca 10 timmar under sommaren medan den tar ca 27 timmar under vår och senhöst. Nästföljande avsnitt 5-10 cm under bräddnivån tar som medelvärde ca 29 timmar att avsänka

under sommaren och ca 48 timmar under vår och senhöst. Avsänkning mellan 10-15 cm under bräddnivån tar under sommaren ca 75 timmar och under vår och senhöst ca 108 timmar. Avsänkningen av nivån under nedersta dräneringshållet sker i samband med längre torrperioder. Avsänkningen sker under sommaren med 0,5-1 cm/dygn och under vår och senhöst med 0,3-0,5 cm/dygn. För parkeringsmagasin M3 är förhållandena likartade, se figur 3-22.

### Gårdsmagasinen

Vattenytans avsänkingshastighet i gårdsmagasinen varierar också kraftigt mellan sommar och vår-senhöst, se figur 3-23. Även under sommarperioden är variationen stor mellan våta och torra perioder. Under vår och höst är avsänkingsförloppet ofta knyckigt beroende på tillförsel av vatten från omgivande mark. Avsänkingsförloppet i magasin M1 redovisas i form av medelkurvor för vår och höst respektive sommar (figur 3-23). Avsänk-

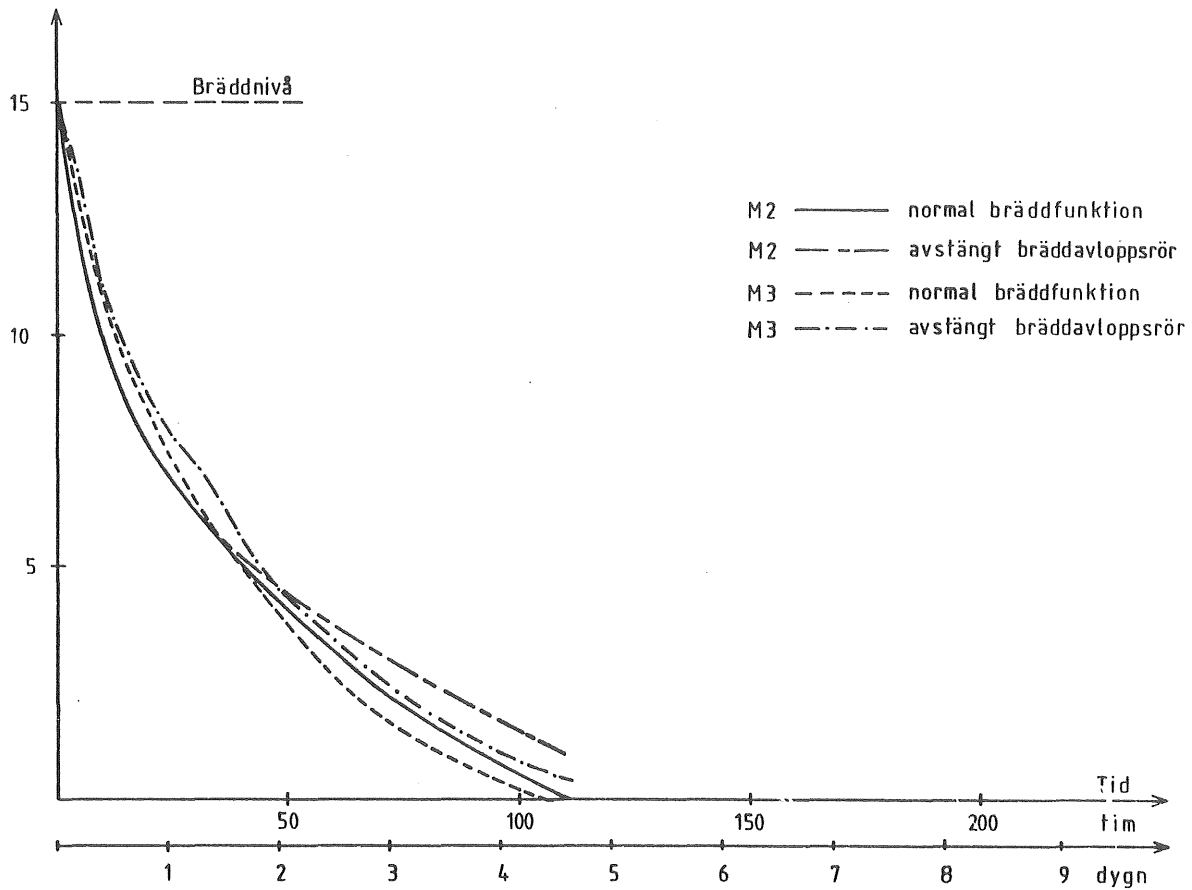


Figur 3-23 Avsänkingsförlopp för gårdsmagasinen.

ningen mellan bräddnivån och översta dräneringshålet (5 cm) sker genom läckage till husdränering och är därför mycket snabb. Bräddning har av denna anledning endast förekommit under mycket intensiva regn (t ex 10/9 1976). Avsänkningen 5-10 cm under bräddnivån tar i medeltal 22 timmar under sommaren medan den tar ca 80 timmar under vår och höst. Avsänkningen 10-15 cm under bräddnivån tar under sommaren 118 timmar medan den under vår och höst tar ca 200 timmar. Så långa torrperioder är ovanliga under vår och höst vilket medför att det är ovanligt att vattennivån når ner till nedersta hålet under annan tid än sommaren. Under långa torrperioder på sommaren kan nivån sjunka under nedersta hålet med ca 0,5 cm/dygn. Förloppet är likartat i magasin M4 med undantag av att avsänkningen går snabbare beroende på att magasinets volym är mycket mindre. Således tar avsänkningen under sommaren mellan 2 och 3 dygn (figur 3-23) medan det under vår och höst är svårt att finna någon period då avsänkningen varit så stor att det går att avgöra hur lång tid en hel avsänkning tar.

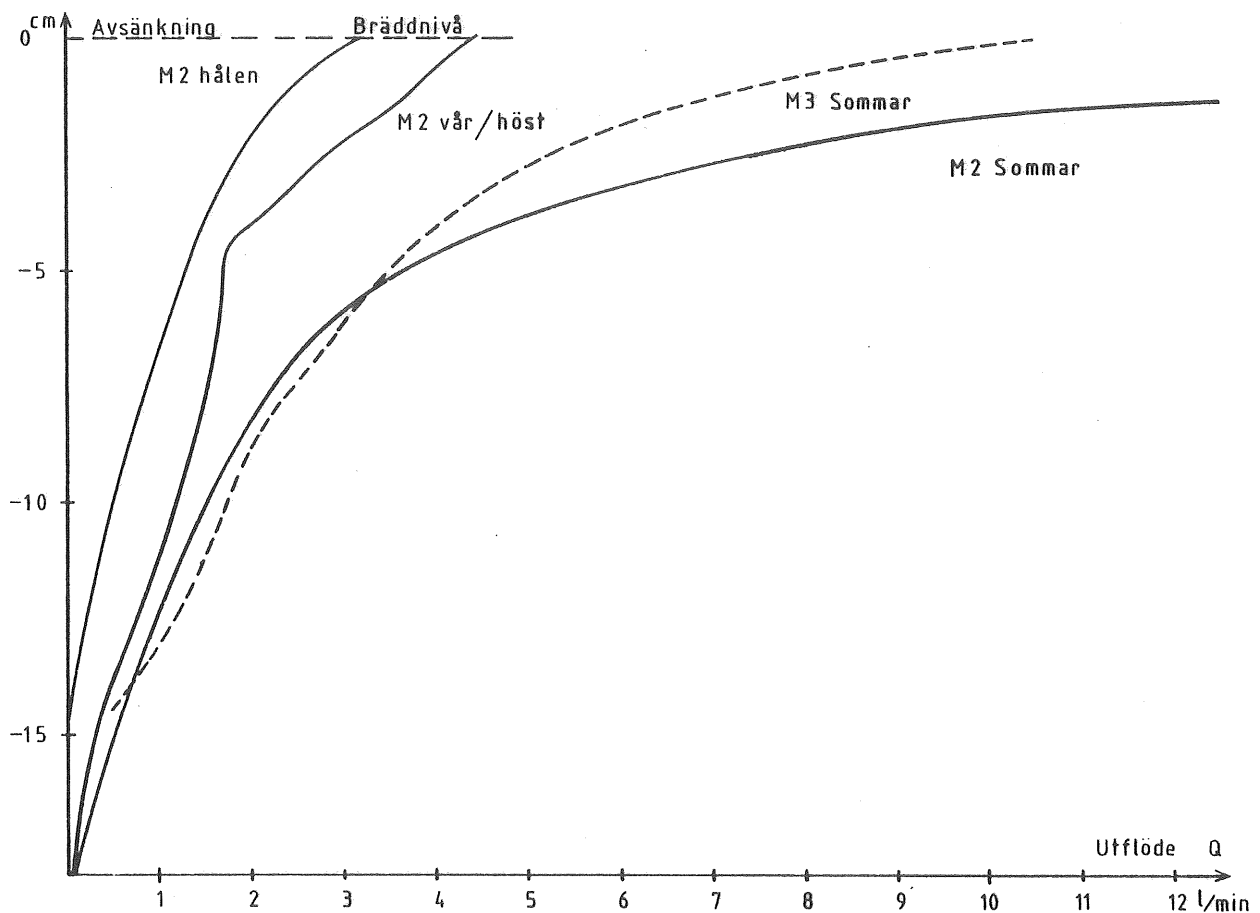
#### 5.4 Avsänkingsförlopp efter artificiell uppfyllnad

Uppfyllnadsförsök för volymbestämmning m m av magasin har gjorts bl a inom ramen för ett examensarbete (von Schantz och Vimby, under arbete). Vid vissa av försöken var dräneringshålen tillproppade för att studera utläckaget till mark. Försöken utfördes under sommarmånaderna i samband med längre torrperioder vilket medför att det tillgängliga markvattenmagasinet var stort. Då dessutom ett magasin i taget fylldes medför detta att markvattenmagasinet enbart fylldes via detta magasin till skillnad från vid regntillfällen då uppfyllning av markmagasinet sker från flera håll. Således konstaterades att vid denna typ av studie avsänkingsförloppet blir för snabbt i förhållande till naturlig uppfyllnad i samband med regn. Detta framgår av figur 3-24 vilken visar att avsänkningen är nästan lika snabb som normalt under sommaren trots att dräneringshålen är tillslutna.



Figur 3-24    *Avsänkingsförlopp vid artificiell uppfyllning med och utan bräddavlopp i funktion.*

Med utgångspunkt från volymkalibreringen enligt avsnitt 4 kan utflödet från magasin till mark vid uppfyllningsförsök bestämmas för olika nivåer i magasinet. I figur 3-25 redovisas sådana bestämningar för magasin M2 och M3. Det nedåt minskande flödet beror dels på att vattennivån sjunker och därmed en mindre sprickarea blir tillgänglig för utflöde, dels på att torksprickorna i leran efterhand sväller igen på grund av vattentillförseln.



*Figur 3-25 Utflöde från magasin som funktion av vattennivå.*

### 5.5 Magasinens funktion vid bräddning

Perkolationsmagasinen består som tidigare beskrivits i avsnitt 2.3 av två delar, sett till deras funktion. När den undre delen är fylld avtappas magasinet genom bräddavloppsröret samtidigt som den övre delen fylls. Vatten avleds då till det normala ledningssystemet för dagvatten. Båda delvolymerna i magasinet deltar vid ett dimensionerande regn. Den beräknade volymen, erforderlig för att undre magasinsdelen skall fyllas, är dock väsentligt mindre än den som i praktiken erfordras, se avsnitt 4.1. Detta får till följd att den beräknade brädd-



ningsfrekvensen ej uppnås. Vid ett bräddningstillfälle är regnintensiteten avgörande för flödesintensiteten för de bräddade vattenvolymer och därmed ledningsdimensionerna, medan det för själva magasinuppfyllningen är regnvolymer som är bestämmande.

Med ledning av avrinnings- och nederbörds-mätningar har förhållandet mellan maximal nederbördsintensitet och maximal avrinningsintensitet beräknats för magasin M3 och M4. Härvid erhålls en "bräddningskoefficient" som är en form av avrinningskoefficient. Bräddningskoefficienten kan inte direkt jämföras med avrinningskoefficient för konventionell dimensionering, men den ger en uppfattning om magasinens flödesutjämnande funktion.

I de två tabellerna nedan redovisas uppmätta flöden och nederbördsintensiteter samt beräknade bräddningskoefficienter. För magasin M4 har två koefficienter beräknats. Detta beror på att såväl takytor som vegetationsytor avvattnas till magasinet. Vegetationsytorna kan mestadels inte förväntas ge några tillskott till flödena.

#### Magasin M3

	Datum	Uppmätta magasins- flöden l/s	Tillflöde från asfaltyta l/s	Bräddnings- koefficient
sommaren	5/6 -77	2,0	10,2	0,2
	23/6 -77	1,1	13,2	0,08
	23/6 -77	1,6	11,7	0,14
	24/7 -77	1,0	5,8	0,17
	4/8 -78	1,8	10,7	0,17
kalla årstiden	5/10 -77	1,1	0,97	0,11
	24/12 -77	0,5	0,7	0,7

Magasin M4

	Datum	Uppmätta magasins- flöden	Tillflöde från tak- yta	Tillflöde från tak- och gräsyta	Bräddnings- koefficient	
		l/s	l/s	l/s		
sommaren	5/6 -77				0,4	
	14/6 -77	0,3	3,1		0,1	
	17/6 -77	0,8	1,2		0,66	
	23/7 -77	1,1	6,9		0,27	
	24/7 -77	1,9	3,4		0,56	
	4/8 -78	4,8	5,6		0,85	
	4/8 -78	10,7	6,5	18,4	1,6	0,58*
kalla årstiden	18/3 -77	1,4	0,9	2,7	1,55	0,51*
	28/3 -77	0,6	0,3	0,8	1,8	0,75*
	6/9 -77	1,1	1,0	2,8	1,1	0,39*
	12/9 -77	1,55	1,8	5,2	0,86	0,3 *
	5/10-77	1,85	5,1	14,4	0,36	0,13*
	23/10-77	1,5	2,3	6,5	0,65	0,23*
	3/11-77	0,5	0,3	1,0	1,6	0,5 *
	8/11-77	1,8	2,0	5,6	0,9	0,32*
	14/11-77	0,5	0,9	2,5	0,55	0,2 *
	19/11-77	1,1	0,97	2,7	1,1	0,4 *
	24/12-77	1,1	0,3	1,0	3,7	1,1 *

\*) Bräddningskoefficienter uträknade för totala tillrinningsytan.

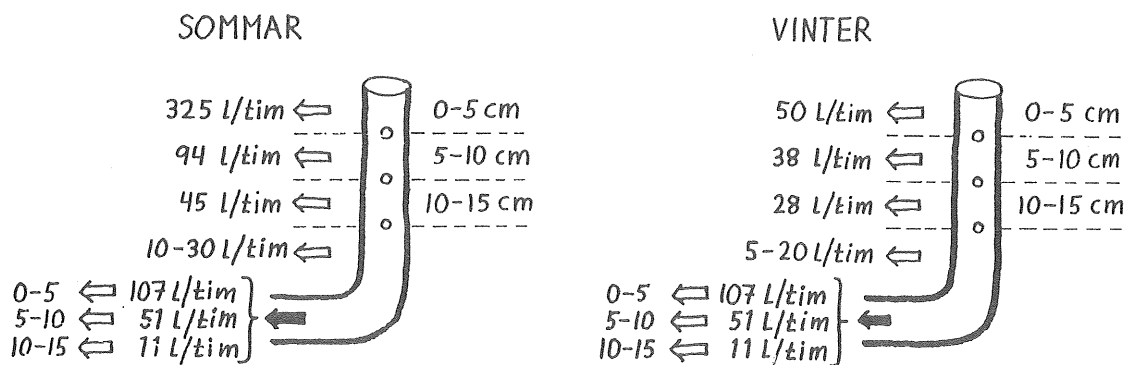
Parkeringsmagasinet M3 ligger under en asfaltyta och tillförs vatten endast från denna. Bräddningskoefficienterna är låga och varierar relativt litet. Troligen kan magasinet under långa våtperioder tillföras dräneringsvatten från omgivande mark vilket kan förklara de högre värdena på koefficienten. Gårdsmagasinet M4 som tillförs vatten både från hustak och vegetationsytor har en något annorlunda funktion. Under vegetationsperioder och vid kortare regn kommer större delen av de nederbördsvolymen som faller över gräsytan inte att avledas till magasinet, åtminstone inte medan nederbörden faller. Under den kalla

årstiden och vid långa regn visar däremot erhållna koefficienter på en klar påverkan från vegetationsytorna. De beräknade koefficienterna är låga för parkeringsmagasinet och under torra perioder även för gårdsmagasinet. Påverkan från gräsytan och även från dräneringsvatten från större områden ger betydligt högre värden under den kalla årstiden. Regnintensiteten är emellertid vanligen låg vid dessa tillfällen.

#### 5.6 Utflöde från magasin till mark

När magasinens volymer och avrinningen genom dräneringshålen är kända kan utflödet till marklagren ("infiltrationen") beräknas. Utflödet består av infiltration i lerans torrskorpa kring magasinen, inläckage i omgivande ledningsgravar, dräneringar m m samt kapillär uppsugning och avdunstning.

Utflödet till mark kan åskådliggöras på det sätt som exemplifieras i figur 3-26. I figuren redovisas utflöde till mark och ledningssystem under sommar respektive vår-höst för magasin M2. De redovisade flödesvärdena representerar medelutflödet när vattennivån befinner sig mellan angivna nivåer 0-5, 5-10 respektive 10-15 cm under bräddnivån. Självfallet innebär detta inte utflöde endast inom de angivna nivåintervallen utan från hela magasinetsvolymen under vattenytan, när denna befinner sig inom angivet nivåintervall.



Figur 3-26 Utflöde till mark och ledningssystem från magasin M2 under avsänkning.

Med utgångspunkt från de i avsnitt 4 beräknade volymerna och dräneringen genom hålen samt de framtagna avsänkingsförloppen i magasinen enligt avsnitt 5.3 har utflödet till mark och ledningssystem beräknats för magasinen M1-M4 enligt nedanstående tabell. Därefter kommenteras de fyra magasinen med avseende på utflödet till omgivande mark.

Magasin	Årstid	Nivå	Volym m <sup>3</sup>	Utflöde hålen		Utflöde mark	
		cm		m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%
M1	sommar	5-15	4,30	3,30	76	1,00	24
M1	vår-höst	5-15	4,30	8,80	-	-4,50	-
M2	sommar	0-18	15,25	2,95	20	12,30	80
M2	vår-höst	0-16	13,55	6,10	45	7,45	55
M3	sommar	0-15	11,80	5,50	47	6,30	53
M3	vår-höst	0-15	11,80	8,70	74	3,10	26
M4	sommar	0-15	2,70	2,70	100	0,00	-
M4	vår-höst	0-11	2,00	5,90	-	-3,90	-

#### Gårdsmagasin\_M1

Magasinets översta 5 cm är ej verksamma på grund av läckage till husdränering. Under sommaren ger magasinet ett tillskott till marklagren medan det under vår och höst verkar dränerande på de omkringliggande marklagren och därifrån får tillskott av en vattenvolym lika stor som magasinetsvolymen. Det är huvudsakligen vid nivån 5-10 cm under bräddnivån som magasinet under sommaren avger vatten till omgivande mark. Från 10 cm är magasinet vanligen dränerande. Under exempelvis den torra våren och sommaren 1976 skedde dock utflöde till marklagren ända till 17 cm under bräddnivån.

#### Parkeringsmagasin\_M2

Ett utflöde från magasinet till marklagren sker alltid under den täta asfaltytan. Detta utflöde är under sommaren 80% av den tillförda volymen medan det under vår och

höst är 55%. När nivån under sommaren är i närheten av bräddning sker ett utflöde till mark på ca 20 l/min. Utflödet avtar sedan allt eftersom vattennivån sjunker och uppgår när nivån är vid sista dränhålet till 0,6 l/min. Under vår och höst är högsta värdet vid bräddnivån endast ca 1,3 l/min medan lägsta värdet fortfarande är 0,4 l/min. Förhållandena i magasin M2 framgår även av figur 3.26.

#### Parkeringsmagasin M3

Magasinet har under sommaren ett utflöde till mark som är något större än avbördningen genom dränhålen, medan avbördningen till 74% sker genom dränhålen under vår och höst. Under sommaren sker ett utflöde av 5,4 l/tim vid bräddnivån medan det vid sista dränhålet är 0,4 l/min. Under vår och höst är toppvärdet vid bräddnivå 1,9 l/min medan det vid sista dränhålet minskat till endast 0,1 l/min. Skillnaden mellan de båda parkeringsmagasinen är som synes stor. Mycket av skillnaden kan bero på det olika terrängläget. Magasin M3 ligger i dalgångens lägsta del och kan förväntas ta emot mera vatten från omgivningarna än M2 som ligger närmare dalgångskanten.

#### Gårdsmagasin M4

Magasinet är beläget i dalgångens lågpunkt. Utflöde från magasinet sker under sommaren när nivån är nära bräddnivån. Motsvarande vattenvolym som tillförts marklagren dräneras emellertid tillbaka till magasinet när nivån i magasinet sjunker varför det inte sker något nettoutflöde till marklagren utan hela den tillförda magasinsvolymen avbördas via dränhålen till ledningssystemet. Under vår och höst dränerar magasinet de omkringliggande marklagren till ca 11 cm under bräddnivån. Att någon ytterligare avsänkning inte sker beror på att utflödet genom hålen vid denna nivå är i balans med inströmningen till magasinet från de omkringliggande marklagren. Således avbördar hålen 3 gånger magasinsvolymen under en avsänkning av dessa 11 cm. För att denna avsänkning skall ske krävs i genomsnitt en torrperiod av ca 3 dygn.

## 6. MAGASINENS KLIMATBEROENDE

Erfarenheter från perkolationsanläggningar under hårdare vinterförhållanden tyder på att magasinen i stort sett bibehåller sin infiltrationskapacitet även om de är tjälade. Detta visar en uppföljning som genomförts i Skellefteå (Andersson, Carlstedt och Paus, 1978). Fortfarande är dock kunskaperna för små för att man skall kunna dra generella slutsatser. Vinterförhållandena har i Göteborgsregionen under den senaste 10-årsperioden varit milda med flera barmarksår. De två vinterperioderna 1976-77 och 1977-78, som innefattas av undersökningarna i Bratthammar hade emellertid längre sammanhängande perioder med både minusgrader och snötäcke, se figur 27 och 28.

Under de två vintersäsongerna har temperaturmätningar utförts i två magasin (M3 och M4). Februari och mars månader 1978 uppmättes även temperaturen i omgivande mark. Temperaturmätningarna utfördes normalt en gång per vecka. Resultaten av mätningarna redovisas i figur 3-29. Angivna temperaturer för magasinet avser vattentemperaturer. Uppgifter om lufttemperatur är hämtade från SMHI:s station vid Säve på Hisingen och avser dygnsmedeltemperatur. Temperaturbestämningarna i magasin och mark är utförda med en vanlig kvicksilvertermometer. Mätningarna i Bratthammar visar att vattentemperaturen i perkolationsmagasinen sjunker mycket långsamt och att den i gårdsmagasinet aldrig närmat sig  $0^{\circ}\text{C}$ . Intressant är att vid de tillfällen det finns samtidiga mätningar från båda magasinen registreras genomgående  $1^{\circ}\text{C}$  högre vattentemperatur i gårdsmagasinen än i parkeringsmagasinen. Värmeförluster från byggnaderna till omgivande mark kan vara en av orsakerna till denna skillnad.

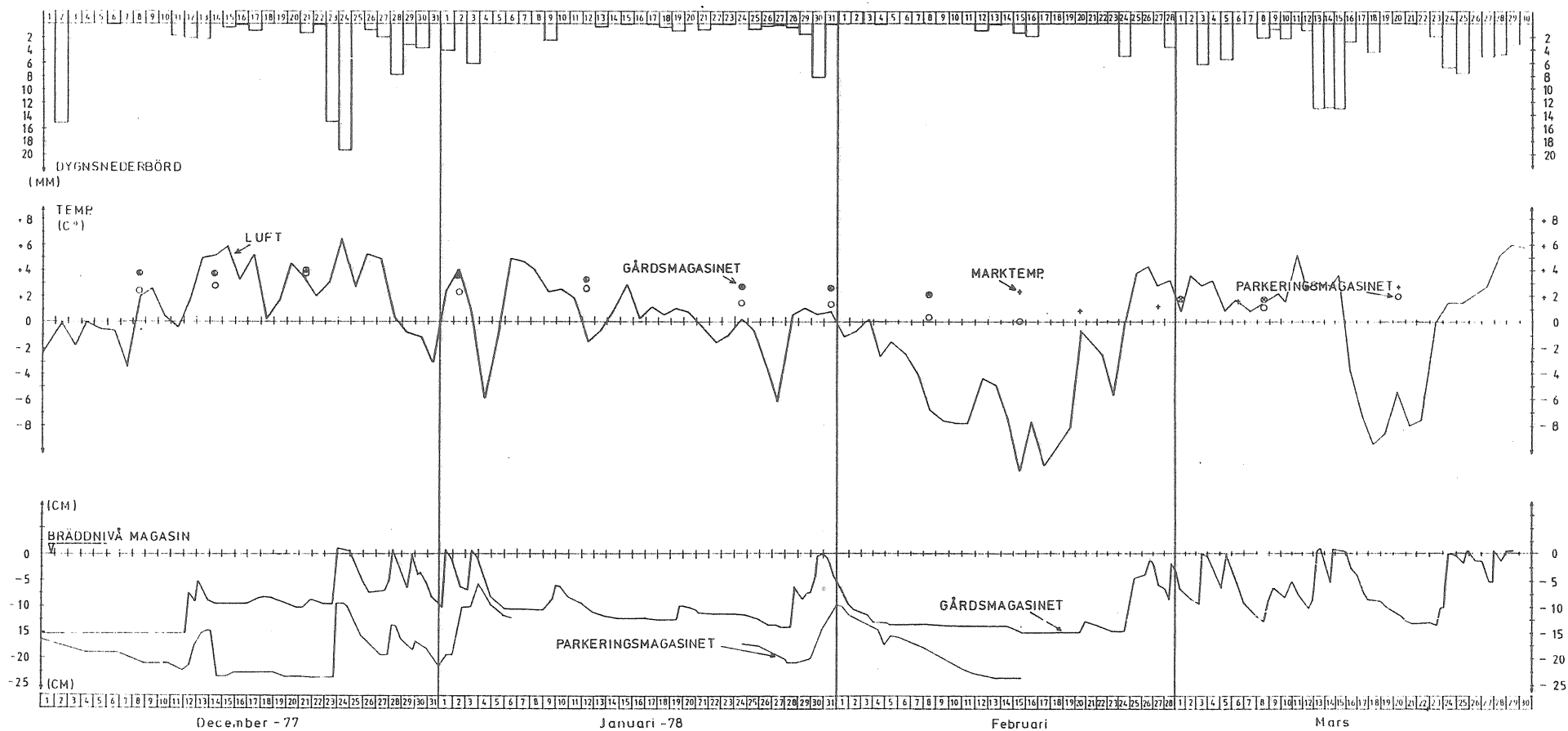
När temperaturen i parkeringsmagasinet sjönk till  $0^{\circ}\text{C}$  vilket endast inträffade vid ett tillfälle, var vattennivån 22 cm under bräddnivån, det vill säga gott och väl



Figur 3-27 Vinterbild från Bratthammarområdet. Foto: Per Lindvall



Figur 3-28 Snöupplag på parkeringsplats. Avsmältningen vållade inte någon speciell olägenhet. Foto: Per Lindvall



Figur 3-29 Redovisning av vinterförhållanden i magasin M3 och M4.



hela magasinsvolymen fanns tillgänglig för kommande tillflöde. De mätningar som utförts i omgivande mark visar, liksom mätningar utförda i Skellefteå visar, att temperaturerna sjunker fortare i magasinen än i omgivande mark.

Sammanfattningsvis visar resultaten av temperaturmätningarna att perkolationsmagasinen i Bratthammar fungerar väl under för Göteborgstrakten normala vinterförhållanden.

## 7. MAGASINSINVENTERING

Den 22/6 1978 gjordes en inventering av bräddavloppsbrunnarna i perkolationsmagasinen inom den del av Bratthammarområdet som omfattats av forskningsprojektet. Inventeringens syfte var att kontrollera magasinens och bräddavloppens funktion.

Enligt ritning över området (nr M:254A) skulle det finnas 42 bräddavloppsbrunnar. Dessa numrerades 1-42 med början i områdets sydöstra hörn, se figur 3-30. Av de 42 brunnarna kunde 9 ej återfinnas, nämligen nr 7, 10, 13, 15, 18, 28, 30, 32 och 42. Sondering till 0,2 m djup gjordes på de platser där det var möjligt men gav inget resultat. Brunn nr 10 kan möjligen vara täckt av plattsättning och brunn nr 32 ersatt med anslutning till det magasin som töms genom brunn 21. Ej påträffade brunnar har markerats speciellt på kartan, figur 3-30.

Vid inventeringen saknades förlängningsröret till bräddanordningen i två brunnar (nr 9 och 17). I 6 brunnar fanns ingen fri vattenyta. I 11 brunnar låg vattenytan mera än 5 cm under nedersta hålet i bräddavloppsröret. I 3 brunnar var nedersta hålet igensatt. I 10 brunnar var vattennivån i jämnhöjd med nedersta hålet, eller

när detta var igensatt mellersta hålet. I 4 brunnar låg vattenytan mindre än 5 cm under nedersta hålet. I 3 brunnar låg vattenytan i jämnhöjd med mellersta hålet och i 2 brunnar (nr 9 och 17, vilka saknade förlängningsrör) vid rörets överkant.



*Figur 3-30* Karta utvisande bräddavloppsbrunnarnas lägen, överfört från ritning M:254A, Svenska Riksbyggen.

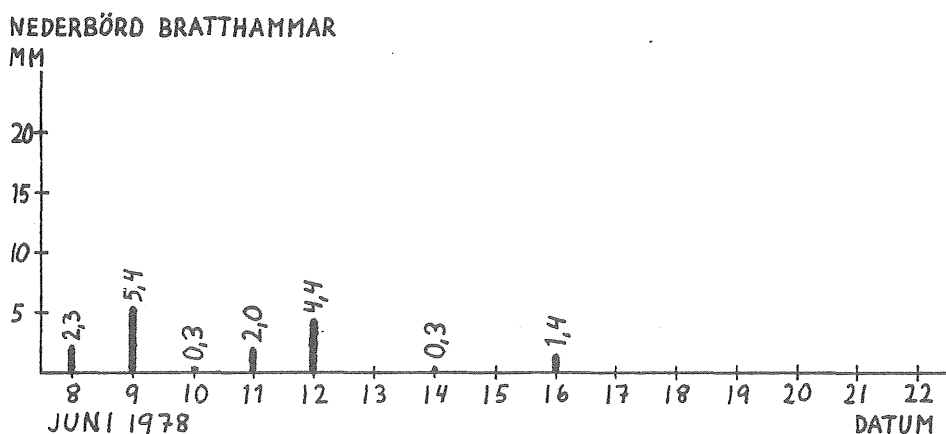
Inventeringen visar sålunda att magasinen fungerar olika från nästan "täta" magasin där vattenytan ligger kvar vid understa dräneringsnivån till sådana som helt töms till omgivande marklager. Följande ungefärliga indelning kan göras:

- 15% av magasinen dräneras snabbt, ingen vattenyta synlig.
- 25% av magasinen dräneras långsamt, vattenyta mera än 5 cm under nedersta dräneringshålet.
- 10% av magasinen dräneras mycket långsamt, vattenyta mindre än 5 cm under nedersta dräneringshålet.
- 30% av magasinen är så gott som täta, vattenyta i nivå med understa dränering.
- 20% av brunnarna kunde ej påträffas.

Indelningen har gjorts med hänsyn till magasinens dimensionering och nederbörden under perioden före inventeringen. Magasinen har dimensionerats för att tömmas genom avtappning till underkant på nedersta hålet i överfallet under 4 dygn. Under perioden 8-22 juni 1978 uppmättes totalt 16,1 mm nederbörd i Bratthammar. Fördelningen i tiden framgår av figur 3-31. Under de sista 5 dagarna av perioden föll inget regn. Utgående från dimensioneringsförutsättningarna skulle sålunda magasinen vara tömda till understa avtappningsnivån vid inventeringen den 22 juni.

Dräneringen från magasinen utöver reglerad avtappning kan ha flera orsaker:

- a) Läckage i rörfogar
- b) Läckage vid rör genomföringar
- c) Läckage vid tätklackar
- d) Kapillär uppsugning och avdunstning
- e) Uppsugning och avdunstning genom växtligheten
- f) Sidospridning i lerans torrskorpa
- g) Vertikal perkolation



Figur 3-31 Uppmätt nederbörd i Bratthammar och Göteborg-Säve under perioden 8-22 juni 1978.

I figur 3-32 har markerats de områden där en avsänkning större än 5 cm under nedersta avtappningshålet noterades. Dessa områden finns dels i anslutning till bergshöjderna i norra delen, dels längs västra kanten. Att avsänkningen sker snabbt i anslutning till bergshöjderna är naturligt, eftersom torrskorpan är djupare där och en viss marklutning underlättar avrinningen. Avsänkningen i magasin längs västra kanten beror troligen på dränering till den huvudkulvert som avgränsar området där.



Figur 3-32 Karta utvisande områden där perkolationsmagasinen uppvisar nämnvärd avsänkning under avtappningsnivån.

En sammanställning av observationerna i bräddavloppsbrunnarna har gjorts i nedanstående tabell.

Brunn nr	Vattennivå under bräddnivå cm	Anm	Brunn nr	Vattennivå under bräddnivå cm	Anm
1	-	ingen vy synlig	21	15,0	
2	26,8		22	21,0	
3	15,0		23	-	ingen vy synlig
4	20,6		24	19,5	
5	34,0		25	38,2	
6	14,7		26	9,7	3:e hålet igensatt
7	-	saknas	27	27,6	
8	10,5	3:e hålet igensatt	28	-	saknas
9	-	överfall saknas	29	-	ingen vy synlig
10	-	saknas (ev täckt av platt- sättning)	30	-	saknas
11	14,5		31	36,7	
12	19,0		32	-	saknas
13	-	saknas	33	17,6	
14	22,1		34	17,0	
15	-	saknas	35	-	ingen vy synlig
16	15,0		36	20,3	
17	-	del av överfall saknas (se brunn 9)	37	-	ingen vy synlig
18	-	saknas	38	39,0	
19	20,0		39	-	ingen vy synlig
20	9,0	obs endast 2 hål i överfallet	40	12,9	3:e hålet igensatt delvis
			41	15,0	
			42	-	saknas

## 8. SAMMANFATTNING

Perkolationsmagasinen är den väsentligaste delen av dagvattenanläggningen i Bratthammar. Undersökningar och analys av magasinens funktion hade därför central betydelse i forskningsprojektet.

De geologiska förutsättningarna i Bratthammar är renodlade och "extrema". Dalgången är fylld med lös, mäktig lera, ursprunglig grundvattennivå låg ungefär i markytan och risken för sättningar vid bebyggelse var stor.

Magasinen utfördes som långsträckta, makadamfyllda diken i lerans torrskorpa. I vissa fall utfördes magasin i ledningsgravar. Vatten tillförs magasinerna från såväl tak- ytor som asfalterade gångvägar och parkeringsplatser. Magasinens funktion är huvudsakligen flödesutjämning. En viktig avsikt med magasinens anläggningar är dessutom att hålla de ytliga lerlagren fuktade och därmed undvika sättningar.

Magasinen har i stort sett utförts som planerat, men vissa avvikelser förekommer. I några fall har sålunda bräddavloppsbrunnarna inte kunnat återfinnas. Vättnet från magasinerna tycks i flera fall inte bara gå ut i lerans torrskorpa. Överströmning till ledningsgravar och husdräneringar förekommer.

Mätningarna i magasinerna har omfattat:

- Vattennivå
- Avbördning
- Volymkalibrering
- Temperatur
- Funktionsinventering

Dessutom har andra mätningar genomförts i magasinens omgivning. I övriga bilagor redovisas sålunda:

- Nederbörd
- Avrinning från större områden
- Sprickvattennivå

- Portryck
- Sättningar
- Grundvattennivå

De genomförda mätningarna har bland annat utnyttjats för att analysera utflöde från magasinen under olika förhållanden, magasinens funktion samt magasinens klimatberoende.

Sammanfattningsvis fungerar magasinen i huvudsak på avsett sätt. Magasinen tycks ge en god fördelning av vatten i området. Förutom själva magasinen ger lerans torrskorpa och andra schakter i området avsevärd magasineringsförmåga. Detta gör att säkerhetsmarginalerna vid extrema tillflöden är större än de teoretiskt beräknade för enbart magasinen.

## 9. REFERENSER

Andersson R, Carlstedt B, Paus K, 1978. Regnvattenavledning genom magasinering och perkolation. Tjälens inverkan på magasin i mark av porös fyllning. Byggforskningen rapport R73:1978.

von Schantz Å, Vimby A, under arbete. Examensarbete i Bratthammar. Institutionen för vattenbyggnad, CTH.

Suneson B, Thorén B, 1977. Perkolutionsmagasin i Bratthammar, Göteborgs kommun. Förutsättningar och driftserfarenheter. Geologiska institutionen, CTH/GU, publ B95, examensarbete.





## SPRICKVATTENMÄTNINGAR

Innehåll

1.	SYFTE	100
2.	MÄTNINGSANORDNINGAR	100
3.	MÄTNINGARNAS GENOMFÖRANDE	104
3.1	Filterspetsarna G 1-11	104
3.2	Filterspetsarna G 12-19	104
4.	RESULTAT	105
4.1	Bearbetning av mätdata	105
4.2	Filterspetsarna G1-11	105
4.3	Filterspetsarna G12-19	111
5.	UTVÄRDERING OCH SAMMANFATTNING	113
6.	REFERENSER	115

## 1 SYFTE

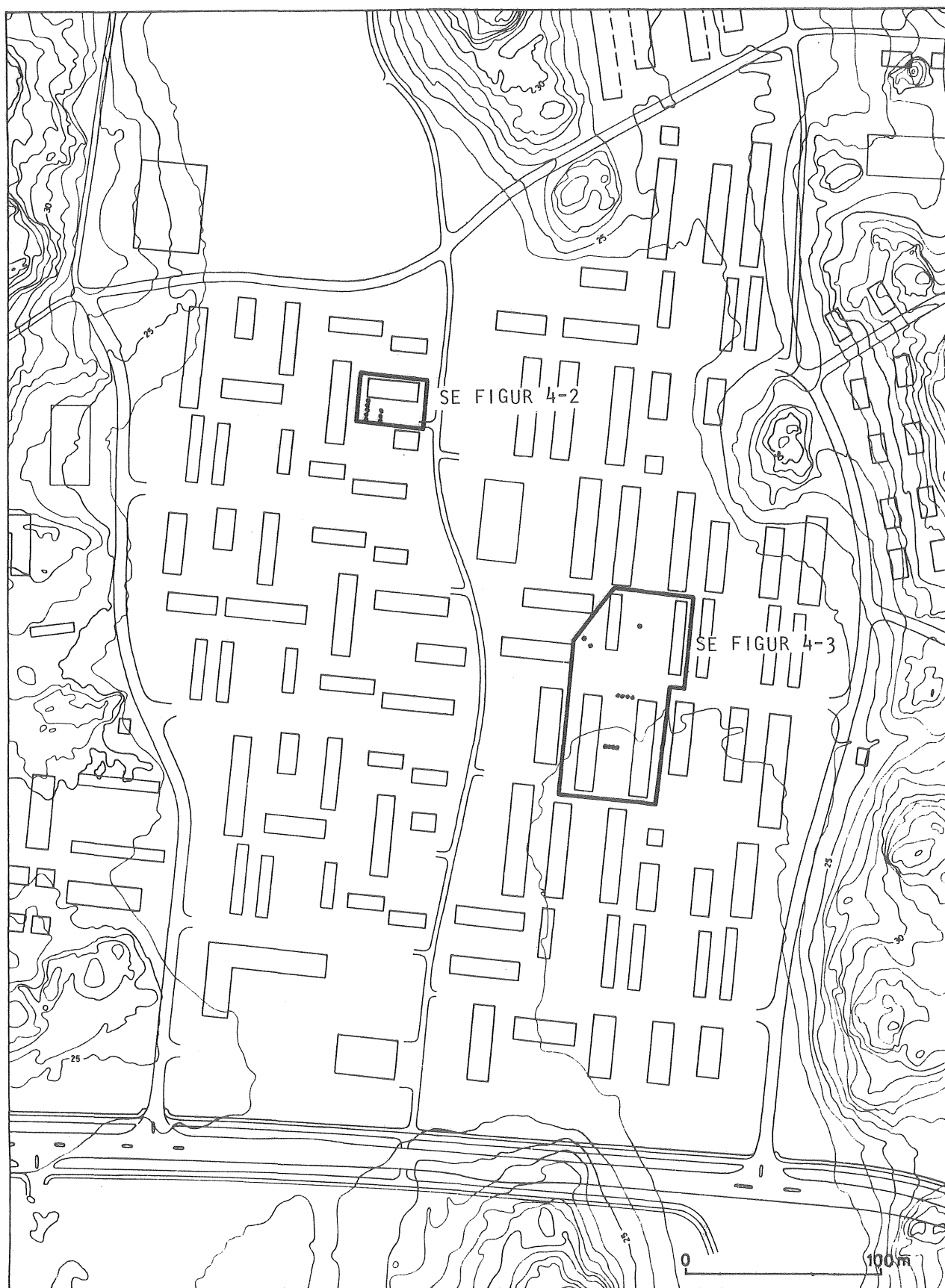
Vattenbalansen i ett område beror i hög grad av förhållandena i markens vattenomättade zon. Nederbördsvattnet infiltrerar genom markytan och magasineras temporärt i det ytliga s k markvattenmagasinet. Studier av infiltrationens storlek och markvattenmagasineringen har tidigare bedrivits inom Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH (Holmstrand och Wedel, 1976, Ericsson och Hård, 1978).

I lerområden sammanfaller markvattenmagasinet ofta med lerans torrskorpa. Där finns ett mer eller mindre välutvecklat spricksystem i vilket uppträder s k sprickvatten. I Bratthammar har leran en påtaglig torrskorpa med mäktigheten i allmänhet mellan 1 och 2 meter. Sprickvattenmagasinet antogs därför ha stor betydelse för perkolationsmagasinens funktion.

För att undersöka sprickvattennivåns variationer installerades speciella mätrör. Resultatet av dessa nivåmätningar redovisas i föreliggande bilaga. Mätningar av vattenhaltens variationer i de översta jordlagren genomfördes dessutom med radiometrisk sond och redovisas i bilaga 5.

## 2 MÄTNINGSANORDNINGAR

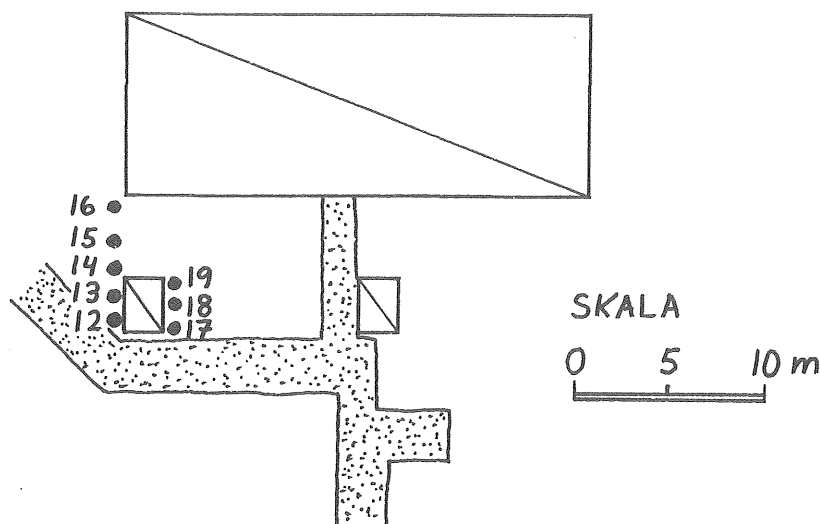
Inom undersökningsområdet har 19 filterspetsar utplacerats. Filterspetsarna består av ett perforerat metallhölje som innehåller ett filter av en porös sand-epoxiblandning. Till filtret är en 4 mm plastslang ansluten. Den lilla volymen gör, att vattenståndsvariationer i kohesionsjordar kan uppmätas. I torrskorpelera och leriga jordarter fungerar filterspetsen i princip som en öppen porttryckmätare.



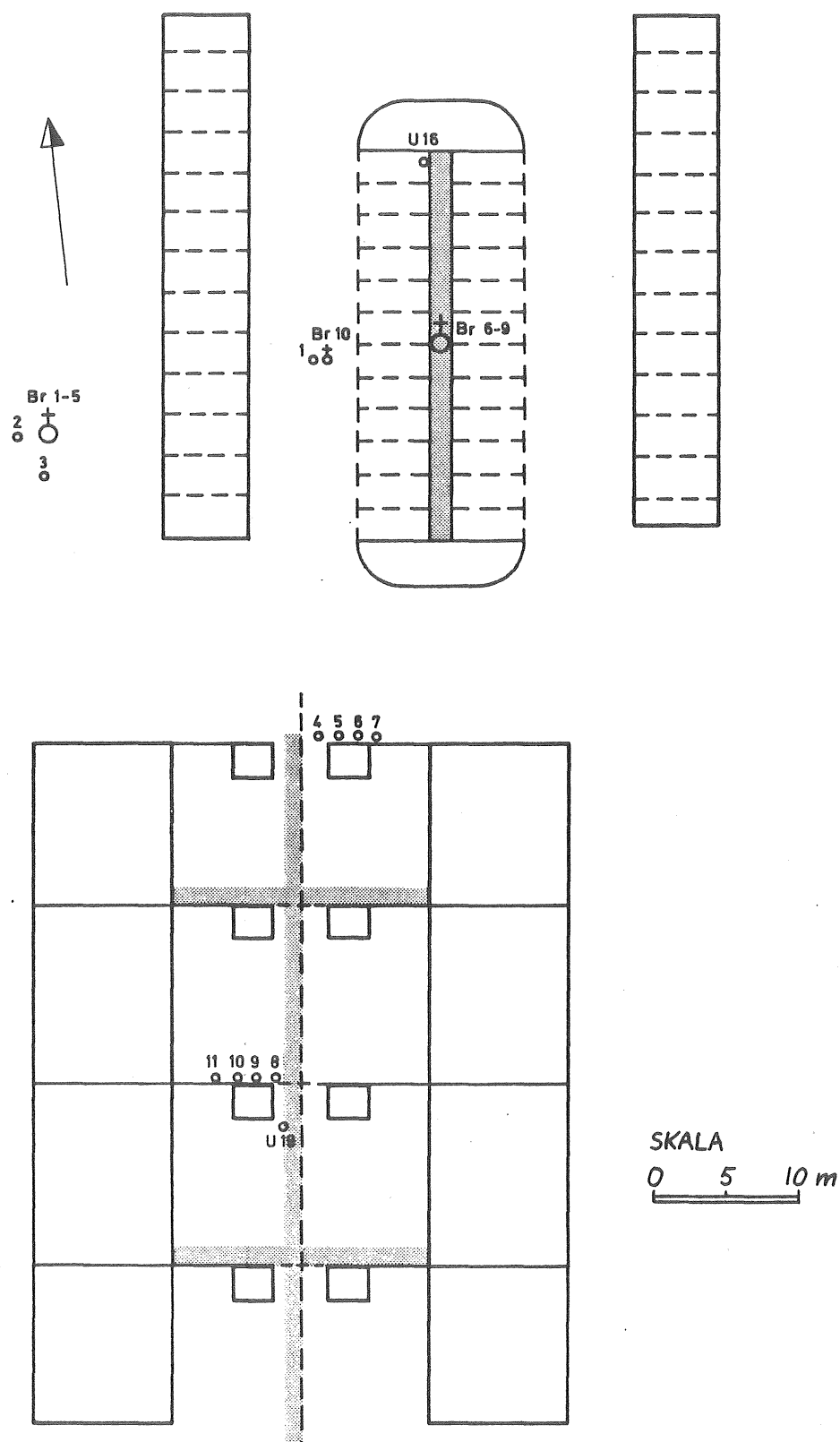
Figur 4-1    Översiktskarta över filterspetsarnas placering i Bratthammarområdet. Inramade områden redovisas mera detaljerat i figur 4-2 och 4-3.

Filterspetsarnas placering framgår av figur 4-1 till 4-3. Av filterspetsarna har 16 st placerats i anslutning till två skilda gårdsmagasin belägna centralt inom områdets byggnadsetapp 2 respektive 3. Filterspetsarna nr G 4-11 har utplacerats i två rader med vardera 4 spetsar, vinkelrätt mot magasinets längdriktning. Det inbördes avståndet mellan spetsarna är ca 2 m. Spetsarna nr G 2 och G 3 har placerats i en plantering vid porttrycksstationen P och spets nr G 1 mellan porttrycksstationen P och porttrycksstationen M, som är belägen centralt inom parkeringsplatsen (se figur 4-3). Samtliga filterspetsar har placerats på nivån 0,83 m under markytan (filtermitt), dvs strax under magasinens normala bottennivå.

Filterspetsarna nr G 12-19 är placerade i anslutning till ett perkolationsmagasin i nordöstra delen av området. Spetsarna är utplacerade i två rader om 5 respektive 3 spetsar vinkelrätt ut från magasinet (se figur 4-2). Det inbördes avståndet mellan spetsarna är 1,5-2 m. I likhet med övriga filterspetsar har även dessa satts på nivån 0,83 m under markytan (filtermitt).



Figur 4-2 Situationsplan över filterspetsar vid ett gårdsmagasin i Bratthammar. Områdets läge framgår av figur 4-1.



Figur 4-3 Situationsplan över filterspetsar vid två perkolationsmagasin i Bratthammar. Områdets läge framgår av figur 4-1. I figuren anger U16 och U19 grundvattenrör, Br 1-5 portrycksmätare vid station M samt Br 6-9 portrycksmätare vid station P.

### 3 MÄTNINGARNAS GENOMFÖRANDE

#### 3.1 Filterspetsarna G 1-11

Avläsning av filterspetsarna påbörjades 77-07-25, en vecka efter installationen. Fr o m 77-07-25 t o m 77-10-02 gjordes avläsningar en gång per vecka. Under tidsperioden 77-10-02 - 78-01-11 utfördes endast en mätning (77-11-21 - filterspetsar G 4-7). Avbrottet i mätserien orsakades av fel på avläsningsinstrumentet under oktober och november. Under december månad kunde mätningarna ej genomföras på grund av frysning och isbildning i mätspetsarna. Fr o m 78-01-11 t o m 78-04-28 genomfördes mätningar ca två gånger per månad och fr o m 78-05-09 ca en gång per vecka. Avläsning av filterspetsarna G 4-7 avbröts tillfälligt mellan 78-05-22 och 78-07-02 på grund av markarbeten.

Av filterspetsarna G 1-3 har G 2 och G 3 tidvis varit torra, medan G 1 under vinterhalvåret vid flera tillfällen varit frusen.

#### 3.2 Filterspetsarna G 12-19

Filterspetsarna G 12-19 installerades under sommaren 1978. Avläsningarna påbörjades 78-08-14, 28 dagar efter installationen. Nästa avläsning skedde 78-09-11 och därefter varannan vecka fram till 78-11-20, totalt 7 avläsningstillfällen.

## 4 RESULTAT

### 4.1 Bearbetning av mätdata

Samtliga mätdata finns arkiverade i tabellform. Nivåmätningarna för filterspetsarna redovisas i diagramform. Nivån för varje filterspets har uppritats mot tiden, figur 4-4 och 4-5. För spetsgrupperna i anslutning till magasinet har sektioner uppritats för varje mättillfälle, figur 4-6 till 4-8. Förutom filterspetsarnas nivå har även gårdsmagasinet vattennivå lagts in för respektive mättillfälle.

### 4.2 Filterspetsarna G 1-11

#### 4.2.1 Mätningarnas tillförlitlighet

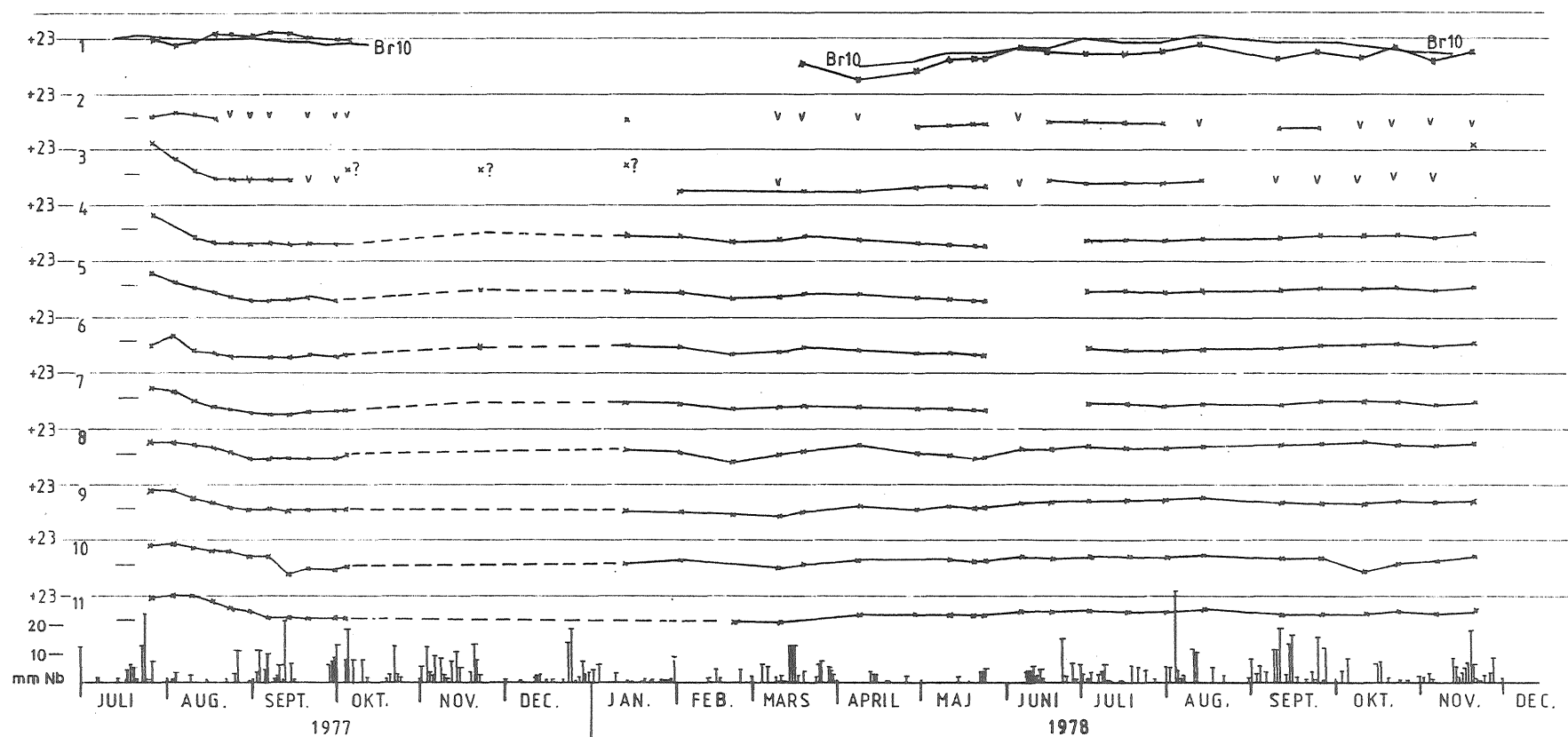
Nivån i mätare G 3-11 minskar successivt under ca 5 veckor. Detta orsakas av att mätarna vid sättningsfylls med vatten. Om vattennivån i torrskorpeleran från början står lågt infiltrerar vatten från filterspetsen till dess jämvikt utbildats.

Under observationsperioden uppvisar G 4-11 god samvariation med avseende på nivåförändringar. Även G 1 uppvisar liknande nivåvariationer jämfört med portryckspets Br 10 som sitter på parkeringsplatsen ca 10 m längre åt öster. Detta indikerar att funktionen är god hos samtliga mätspetsar.

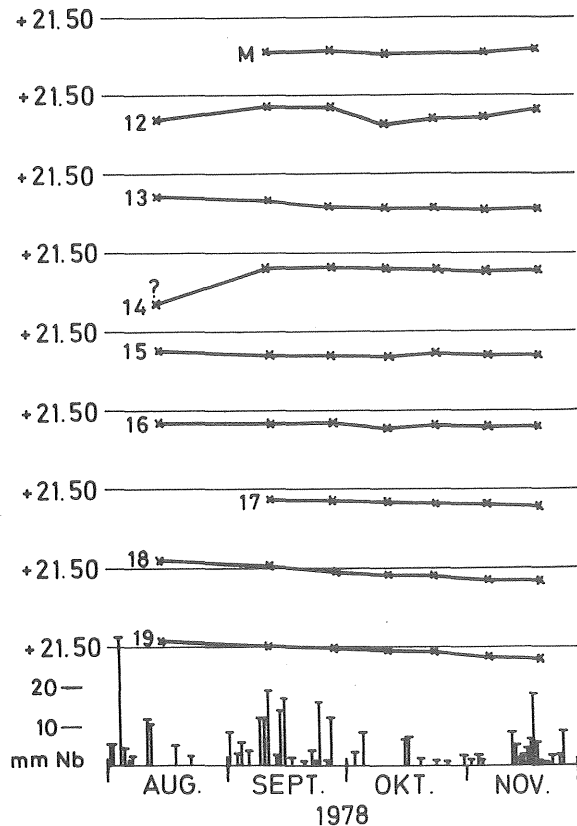
#### 4.2.2 Kommentarer till filterspetsarnas nivåkurvor, figur 4-4

Nivåkurvorna uppvisar, som tidigare nämnts, en markerad nedgång efter sättningsen. Denna nivåminskning har troligen förstärkts genom att stora nederbörds mängder föll i slutet av juli månad i samband med sättningsen. Från den 18:e till den 27:e juli föll hela 60 mm regn.





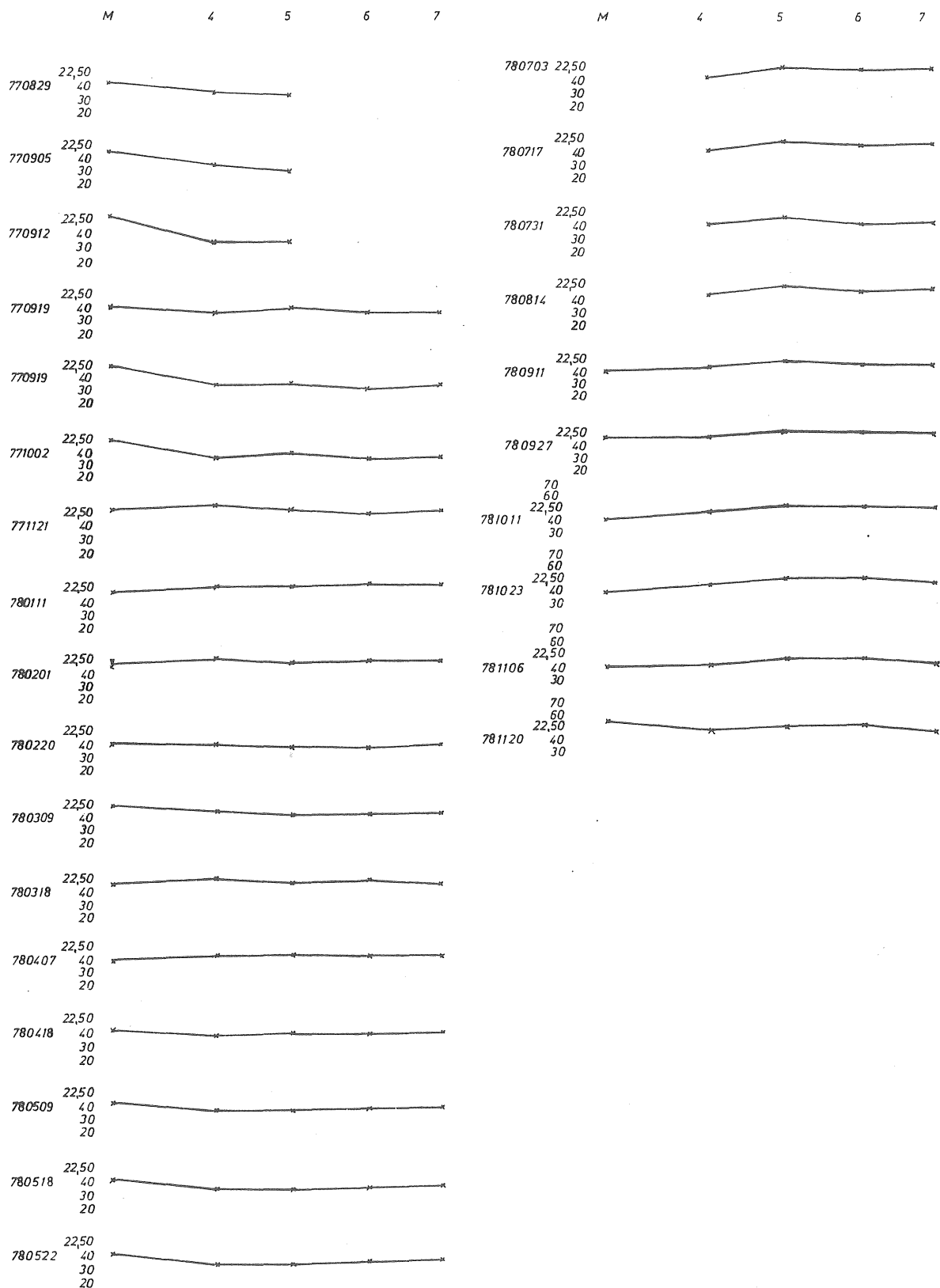
Figur 4-4 Fluktuationsdiagram för vattennivån i filterspetsarna G1-G11. Som jämförelse har även porttrycksmätare Br 10 ritats in. Magasinets bräddnivå har markerats med ett streck till vänster om respektive kurva. Längst ned anges uppmätt dygnsnederbörd. Mätarnas placering framgår av figur 4-1 och 4-3. Höjderna är angivna i Göteborgs höjdsystem.



*Figur 4-5* Fluktuationsdiagram för vattennivån i filterspetsarna G12-G19. Som jämförelse har också nivån i intilliggande magasin (M) ritats in. Längst ned anges uppmätt dygnsnederbörd. Mätarnas placering framgår av figur 4-1 och 4-2. Höjderna är angivna i Göteborgs höjdsystem.

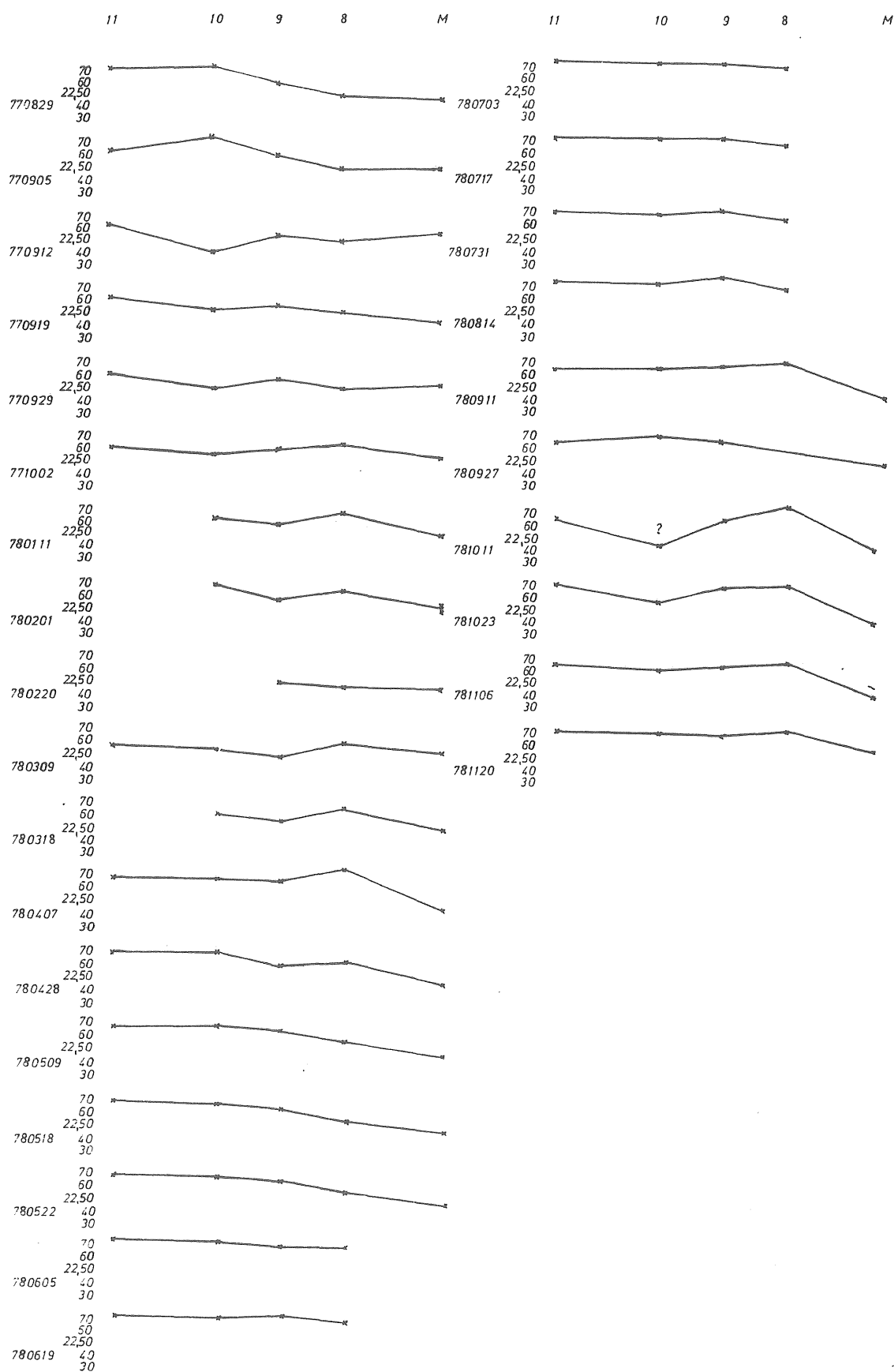
Vattennivån i torrskorpeleran var således hög, när mätningarna påbörjades. Perioden 28:e juli t o m 24 augusti var mycket nederbördsfattig, totalt föll endast 7 mm regn. Detta återspeglas i nivåkurvorna som en nedgång t o m slutet av augusti. En höjning av filterspetsarnas nivåer erhöles under de regnrika månaderna september, oktober och november 1977.

Under januari 1978 uppvisade filterspetsarna en jämn nivå medan en sänkning av nivån inträffade under februari. Under de två första månaderna 1978 föll 13 mm nederbörd. Under snösmältningen i mars steg nivån för samtliga filterspetsar. Fr o m början av april till slutet av maj sjönk nivån ånyo. I slutet av maj och början av juni skedde en markant uppgång för spetsarna G 8-11. Denna uppgång motsvaras inte av någon nederbördstopp utan kan istället bero på bevattnings.



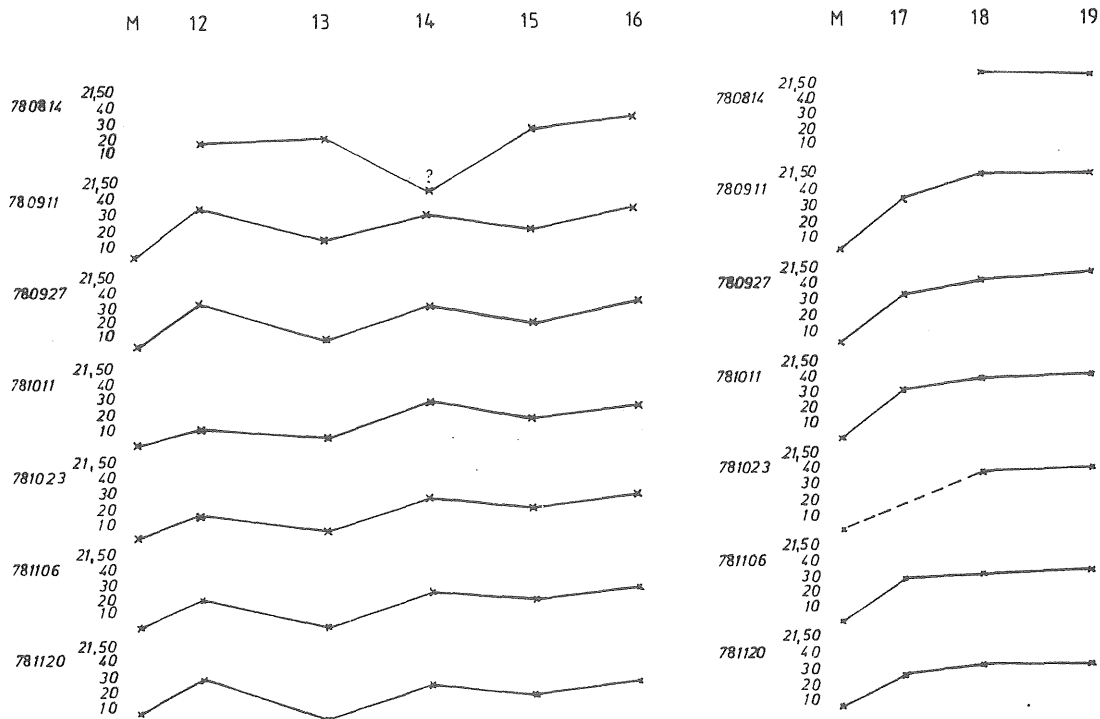
Figur 4-6

Sprickvattensektioner för filterspetsarna G4-G7 samt magasinsnivå M. Höjderna är angivna i Göteborgs höjdsystem.



Figur 4-7

Sprickvattensektioner för filterspetsarna G8-G11 samt magasin snivå M. Höjderna är angivna i Göteborgs höjdsystem.



Figur 4-8 Sprickvattensektioner för filterspetsarna G12-G16 och G17-G19 samt magasin snivå M. Höjderna är angivna i Göteborgs höjdsystem.

#### 4.2.3 Kommentarer till sektionerna G 4-7, figur 4-6

Av figuren framgår att tryckgradienten för sektionen G 4-7 är riktad från magasinet under tiden 77-08-21 - 77-11-21. Vid avläsningen 77-01-11 finns en svag gradient utbildad från torrskorpan mot magasinet. Under februari månad är vattennivån i magasinet och jorden lika. Under mars månads inledning finns en svag tryckgradient utbildad från magasinet, medan avläsningen 78-03-18 visar likartade tryckförhållanden i magasin och omgivande jordart. 78-04-07 är vattennivån i magasinet lägre än i omgivande jordart. Fr o m 78-04-28 är tryckgradienten riktad från magasinet mot omgivande jordart.

#### 4.2.4 Kommentarer till sektion G 8-11, figur 4-7

Mätningarna från station G 8-11 visar, att en tryckgradient finns utbildad från leran mot magasinet vid samtliga mättillfällen. Vid jämförelse med filter-

grupp G 4-7 framgår, att denna har en genomsnittlig tryckhöjd ca 0,1-0,2 m lägre än G 8-11. Detta orsakas sannolikt av att leran vid filtergrupp G 4-7 dränerar via de kabelgravar och nedstigningsbrunnar som ligger i anslutning till gatan norr om filterspetsgruppen.

#### 4.3 Filterspetsarna G 12-19

##### 4.3.1 Mätningarnas tillförlitlighet

Filterspetsarnas samvariation inbördes och med magasinet är i huvudsak god. Detta indikerar god funktion hos samtliga spetsar.

Första mätvärdet för filterspets G 14 kan vara felavläst. Förutom detta och G 12 uppvisar filterspetsarna sjunkande nivåer under mätperioden. Vid den sista avläsningen kan dock en tendens till utplanande eller svagt stigande nivå ses i spetsarna G 13, 14, 15, 16 och 18.

Mätare G 12 uppvisar kraftiga fluktuationer tydligt korrelerade till nederbörden. De övriga mätarna uppvisar huvudsakligen mycket svaga tendenser att korrelera med nederbörden.

##### 4.3.2 Kommentarer till filterspetsarnas nivåkurvor, figur 4-5

Många nivåkurvor uppvisar som tidigare nämnts i stort en nedgång under mätperioden. Detta trots att en hel del nederbörd fallit. En del av nedgången kan i början bero på att mätarna vid installationen fylldes med vatten och att infiltration ut i torrskorpan skett. Mätningarna påbörjades ca 4 veckor efter installationen och mätningarna från filterspetsgruppen G 1 - G 11 visar att infiltrationen från spetsarna kan pågå i ca 5 veckor.

I mitten av oktober kan en stigning av nivån ses i G 12, 15 och 16. I övrigt sträcker sig nedgången eller stagnationen i kurvorna från mätperiodens början över den regnrika septembermånaden fram till mitten på oktober. Där planar de sjunkande kurvorna ut medan de plana stiger något. Från slutet av oktober sjunker nivån ånyo till mitten av november, när en stignings-tendens kan ses till följd av nederbörd.

#### 4.3.3 Kommentarer till sektionerna G 12-16, figur 4-8

Sektionerna uppvisar inte någon jämn tryckgradient. Värdet för G 14 den 14 augusti är troligen felavläst. Med undantag av den första mätningen är tryckgradienten utbildad mycket lika vid alla mättillfällen. Tryckgradienten är i huvudsak riktad in mot magasinet. Spets G 13 har en nivå som varierar från något över till strax under magasinetsnivån medan de övriga spetsarna har nivåer omkring 0,2 m över magasinets.

#### 4.3.4 Kommentarer till sektionerna G 17-19, figur 4-8

Tryckgradienten är mycket likartat utbildad vid alla mättillfällen och riktad in mot magasinet med 0,3-0,4 m högre vattenyta i omgivande jord än i magasinet. Vid jämförelse med sektion G 12-16 framgår, att denna i genomsnitt har en trycknivå 0,1 m under sektionen G 17-19. Detta kan orsakas av att leran vid G 12-16 dräneras via framför allt kabelgravar.

## 5 UTVÄRDERING OCH SAMMANFATTNING

Genomförda mätningar visar att det i lerans uppspruckna ytskikt, torrskorpan, i allmänhet finns ett sprickvattenmagasin. Sprickmönstret tycks i vissa delar vara öppet mot ytan och sprickvattennivån korresponderar väl med nederbörden (G 4-11). I andra delar av lerområdet uppvisar dock sprickvattenmätarnas nivåkurvor en påtaglig eftersläpning av fluktuationerna gentemot nederbörden. Detta indikerar ett mindre öppet och välutbildat spricksystem (G 17-19).

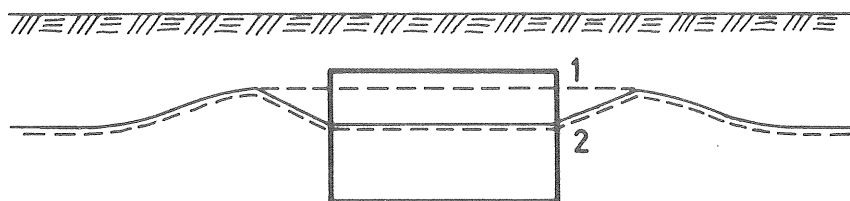
De genomförda mätningarna i sektion G 4-7 visar, att en tryckgradient finns utbildad från magasinet till den omgivande leran under den tid, då vattennivån står lågt i den omgivande jordarten, dvs under sommaren och förhösten samt efter snösmältningen. Detta indikerar en vattentransport från magasinet till leran under denna tid. Under den våta perioden visar mätningarna i sektion G 4-7, att en svag tryckgradient finns utbildad antingen från eller till magasinet eller också föreligger lika tryckhöjd i magasinet och den omgivande jordarten. Detta innebär, att en svag dränering av leran sker vid vissa tillfällen under den våta perioden, senhösten till och med snösmältningen under våren.

Mätningarna i sektion G 8-11 visar, att en tryckgradient finns utbildad från leran mot magasinet vid samtliga mättillfällen. Detta indikerar, att den omgivande leran under hela året dräneras av magasinet. Även sektionerna G 12-16 och G 17-19 indikerar att leran dräneras av magasinen under den våta höstperioden när sprickvattennivån är hög.

När det gäller magasinens nivå i förhållande till vattennivån i den omgivande torrskorpeleran kan man



tänka sig att magasinen vid häftiga regn fylls upp och avleder vatten ut i torrskorpan. Torrskorpan kan då få en förhöjd sprickvattennivå i närheten av magasinet. Denna förhöjda sprickvattennivå ger en gradient in mot magasinet när detta bräddar och avsänks, se figur 4-9. Orsaken till detta förlopp skulle kunna vara att torrskorpans permeabilitet är väsentligt större i de övre delarna jämfört med de lägre. Utströmningen av vatten till torrskorpan vid höga vattennivåer går då mycket snabbare än återströmningen till magasinet vid lägre nivåer.



Figur 4-9 Hypotes om samspillet mellan vattennivån i magasinet och omgivande torrskorpa. Hög vattennivå i magasinet (1) ger förhöjd sprickvattennivå i de närmaste omgivningarna. Vid avsänkning av nivån i magasinet (2) kan en fördröjning av sprickvattennivåns sjunkning orsaka en tryckgradient in mot magasinet.

Något av det beskrivna förloppet kan ses i sektion G 4-7 vid måttillfällena 78-03-09 - 78-03-18 och G 8-11 vid måttillfällena 77-09-29 - 77-10-02. Effekten tycks uppträda inom en tidsrymd av en vecka och sträcker sig inte mer än någon meter ut från magasinen. Mätresultaten tolkas så att effekter förekommer men endast i liten skala och påverkar inte dräneringsmönstret kring magasinen över längre perioder.

Generellt tycks mätningarna visa, att magasinen orsakar en dränering av sprickvattenmagasinets övre del huvudsakligen under årets nederbördsrika perioder, när sprickvattennivån är hög. Under torrare perioder minskar den dränerande effekten och kan bytas mot en tryckgradient som ger avledning av vatten från magasinen till torrskorpeleran.

Sprickvattnets nivå i torrskorpan följer i stort porvattentryckets variationer. Någon tendens till allmän förändring av sprickvattennivån kan inte konstateras under mätperioden. Perkulationsmagasinen kan med utgångspunkt från genomförda mätningar endast konstateras ha lokala påvisbara effekter på sprickvattennivån. Detta utesluter emellertid inte, att magasinen kan ha en allmänt höjande effekt på sprickvattennivån inom området i jämförelse med om inga magasin hade utförts och regnvattnet avletts på konventionellt sätt.

## 6 REFERENSER

Ericsson, L O, Hård, S, 1978, Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. Geohydrologiska Forskningsgruppen, CTH, meddelande nr 32.

Holmstrand, O, Wedel, P O, 1976, Markvattenundersökningar i ett urbant område, Geohydrologiska Forskningsgruppen, CTH, Meddelande nr 17.



BILAGA 5

SID

## MARKVATTENMÄTNINGAR

Innehåll

1	SYFTE	118
2	MÄTANORDNINGAR	118
2.1	Tidigare undersökningar	118
2.2	Mätutrustning	119
2.3	Densitetsbestämning	121
2.4	Vattenhaltsbestämning	122
2.5	Observationsnät	123
3	MÄTNINGARNAS GENOMFÖRANDE	126
4	MÄTRESULTAT	126
5	UTVÄRDERING OCH SAMMANFATTNING	137
6	REFERENSER	

## 1 SYFTE

Vattenbalansen i ett område beror i hög grad av förhållandena i markens vattenomättade zon. Nederbördsvattnet infiltrerar genom markytan och magasineras temporärt i det ytliga s k markvattenmagasinet. Studier av infiltrations storlek och markvattenmagasineringen har tidigare bedrivits inom Geohydrologiska forskningsgruppen, CTH (Holmstrand & Wedel, 1976, Ericsson & Hård, 1978).

I lerområden är markvattenmagasinet i stort sett knutet till torrskorpans spricksystem. Där finns ofta utbildat ett separat s k sprickvattensystem. Undersökningarna har visat att det i Bratthammar finns en välutbildad torrskorpa med mäktigheten i allmänhet mellan 1 och 2 meter.

Mätningar av sprickvattennivåns variationer redovisas i bilaga 4. Här redovisade undersökningar avser direkt bestämning av vattenhaltens variationer i de översta jordlagren med hjälp av radiometrisk sond. Genom bestämning av variationen i markvattenhalt bedömdes det vara möjligt att uppskatta markvattenmagasinets betydelse för områdets vattenbalans.

## 2 MÄTANORDNINGAR

### 2.1 Tidigare undersökningar

Undersökningar av markvattenförhållanden var ursprungligen tidskrävande och besvärliga med insamling av jordprov och efterföljande laboratoriearbete. Genom tillkomsten av radiometrisk mätteknik har undersökningsmetodiken förenklats högst väsentligt. Insamlandet av data i tillräcklig mängd under begränsad tid erbjuder numera inga stora problem. Något tillspetsat kan problemet sägas ha förskjutits från insamlandet av mätdata till tolkningen och behandlingen av dessa.

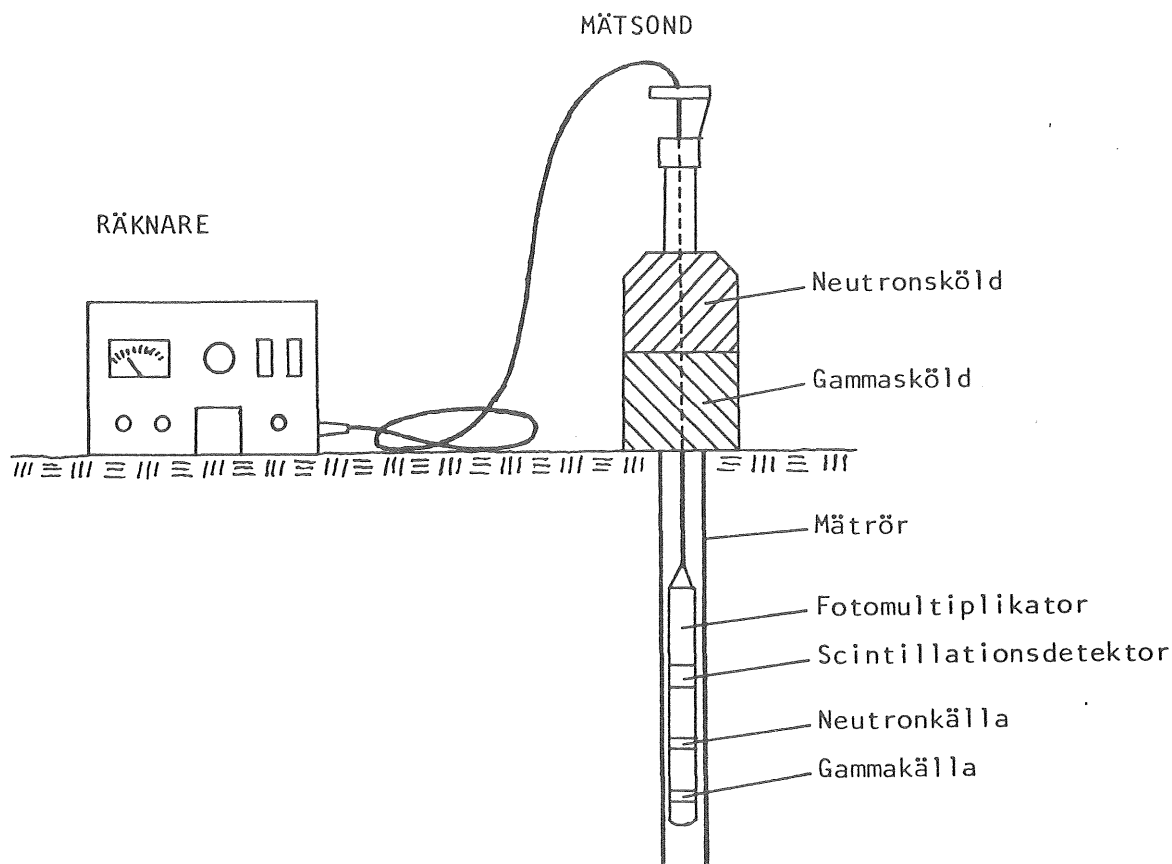
Tillgång till radiometrisk mätutrustning och erfarenhet av mätningar fanns sedan tidigare inom Geohydrologiska forskningsgruppen. Mätningar har t ex bedrivits i Bergsjön. I rapporten från dessa undersökningar (Holmstrand & Wedel, 1976) ingår även utförliga metodbeskrivningar och referat av markvattenundersökningar som genomförts på andra ställen i Sverige.

## 2.2 Mätutrustning

För mätningarna har använts en radiometrisk djupsond av NEA:s fabrikat (BASC Depth Moisture/Density Probe). Sonden består av en neutronkälla (30 m Ci Am-Be<sub>241</sub>), en gammakälla (1 m Ci Cs<sub>137</sub>) samt en scintillationsdetektor (litiumglaskristall) med fotomultiplikator. Som registreringsinstrument har använts NEA:s BASC, Portable Battery Scaler.

En radiometrisk djupsond är ett instrument som används för att undersöka jordlagren kring ett i marken nedslaget rör. Sonden kan vara kalibrerad för mätningar i rör av olika material såsom järn och aluminium. Denna apparat är främst avsedd för mätning av vattenhaltens variationer i den omätade zonen. På grund av randeffekter vid markytan kan i allmänhet ej det översta 20-25 cm mäktiga marklagret kontrolleras utan speciell kalibrering. Apparaturens principiella uppbyggnad framgår av figur 5-1. De båda strålningskällorna och detektorn sitter i en cylinderformad mätkropp, som kan sänkas ned i mätrören. Under transport är mätkroppen innesluten i ett skyddshölje. Av naturliga skäl kan endast återspridningsmätning (strålningen från strålningskällan när detektorn efter reflektion i marklagren) utföras.

Vid den praktiska mätningen sänks sonden ner i mätröret. Djupet kan avläsas på ett räkneverk som är kopplat till en rulle, vilken löper mot den kabel sonden hänger i. Utan speciella åtgärder kan mätning ej utföras högre än 20 à 25 cm under markytan. Beroende på vilken noggrannhet som erfordras kan olika mättider väljas. Noggrannheten blir högre med långa mättider. I detta fall har genomgående använts tiden 30 sek.



Figur 5-1      *Principskiss över radiometrisk djupsond.*

Mätvärdena omräknas till densitet respektive vattenhalt med hjälp av kalibreringskurvor, vilka framställs individuellt för varje instrument. Enligt NEA är sonden kalibrerad för dansk "genomsnittsmorän" vilken får antas huvudsakligen bestå av silikat- och karbonatmineral. I denna jordart antas den väsentliga neutronabsorbatorn vara väte i form av vatten. Speciellt vad gäller vattenhaltsmätning kan avvikande kemisk sammansättning i marken förorsaka fel. Detta gäller särskilt vid hög halt av klor (Cl) bor (B) och järn (Fe). Hög halt av organiskt material (innehållande kolväten) innebär också en felkälla.

Densiteten måste bestämmas först eftersom kalibreringskurvorna för vattenhalt är något beroende av variationer i densitet. Vid mätningar i samma punkt, som syftar till att följa vattenhaltens variationer räcker det att bestämma

densiteten en gång och därefter endast mäta vattenhalt. För att underlätta utvärderingen av de rutinmässiga vattenhaltsmätningarna har kalibreringskurvorna för uppmätta densiteter överförts till ett enkelt dataprogram avsett att köras på en minidator av typ HP 98.

Erhållna densitets- och vattenhaltsvärden representerar en sfär kring sonden. Denna sfär varierar något i storlek beroende på förutsättningarna. I allmänhet kan dock sfären sägas ha en radie av 15 à 20 cm. Det är sålunda svårt att få exakt utslag för tunna skikt i jorden och distinkta gränser kommer att framstå som mera diffusa övergångar. Man kan å andra sidan troligen hävda att det är fördelaktigt med en viss utjämning av småskaliga inhomogeniteter i de urbant tillskapade lagerföljder som det oftast är fråga om i detta fall.

Principerna för radiometrisk mätning redovisas i följande avsnitt översiktligt för att ge en allmän bakgrund till metoden. För mera ingående teoretiska beskrivningar hänvisas exempelvis till "Isotopteknik inom markfysik och geohydrologi" (1963) varifrån beskrivningarna till stor del har hämtats.

### 2.3 Densitetsbestämning

För bestämning av ett materials densitet (volymvikt) kan genomstrålning med gammastrålar utnyttjas, gammastrålningen utgörs av en elektromagnetisk vågrörelse av mycket kort våglängd och är av samma karaktär som röntgenstrålning eller ljusstrålning. Vid passage genom materia undergår strålningen en intensitetsminskning, en absorbtion, varigenom den utträdande intensiteten blir lägre än den infallande. Inom vissa gränser för strålningens energi och den genomstrålade materiaens atomnummer är intensitetsnedsättningen proportionell mot absorbatormaterialets densitet och gångvägen i absorbatoren. Detta är bakgrunden till att gammastrålning kan utnyttjas både för tjockleksmätning på enhetliga material och densitetsbestämning när tjockleken är konstant.



En gammastrålkälla (exempelvis  $\text{Co}_{60}$  eller  $\text{Cs}_{137}$ ) som är innesluten i ett medium kommer att omges, förutom av den egna primärstrålningen, av sekundär strålning som uppstått genom så kallad Compton-spridning i materialet. Härpå grundar sig användningen av gammaåterspridningsmätning för densitetsbestämning. Den sekundära strålningen utsänds nämligen i alla riktningar och en viss del kommer även att återvända mot strålningens utgångspunkt. Intensiteten hos denna återspridda strålning beror av densiteten och atomnumret hos det omgivande mediet. För de jämförelsevis enhetliga material, som jordlager utgör med avseende på atomnummervariationen, kan man i allmänhet försumma beroendet av atomnumret och anse den återspridda strålningens intensitet vara en funktion enbart av densiteten.

Som detektor kan antingen användas Geiger-Müller-rör eller scintillationsdetektor. Den förstnämnda är enkel och pålitlig men dess verkningsgrad för gammastrålning är låg, varför den är mindre lämplig. Scintillationsdetektorn däremot har hög verkningsgrad för gammastrålning. Det strålningskänsliga mediet i detektorn är en kristall, scintillatorn, vanligtvis av natriumjodid, som fluorescerar under den radioaktiva strålningens inverkan. För att förstärka ljusnivån, som är mycket låg, fordras en kraftig förstärkning i en så kallad fotomultiplikator, vilken enklast kan beskrivas som en fotocell med inbyggd förstärkning.

#### 2.4 Vattenhaltsbestämning

För bestämning av ett materials vattenhalt kan bestrålning med snabba neutroner användas. Sådan strålning utlöses genom en kärnreaktion om ett alfastrålande (alfastrålar = heliumkärnor) ämne blandas med grundämnet beryllium. Neutronerna utsänds med höga energier. I ett material, som omger det neutronstrålande preparatet kommer neutronerna så småningom att bromsas genom elastiska stötar med materialets atomkärnor. Olika grundämnen har olika stor förmåga att bromsa neutroner. Enligt mekanikens lagar fördelas en neutrons rörelseenergi vid elastisk stöt mot en atomkärna omvänt pro-

portionellt mot deras respektive massor. Vätekärnan (protonen) har nästan exakt samma massa som neutronen, varför kollision med en vätekärna medför en halvering av rörelseenergin hos neutronen. Väte är därför den effektivaste bromsen eller moderatorn, som existerar. Efter drygt 20 stötar har energin reducerats till så låga värden att neutronen befinner sig i termisk jämvikt med omgivningen, dvs har samma genomsnittliga hastighet som atomerna i omgivande material. Sådana neutroner är till skillnad från energirika neutroner mycket benägna att initiera kärnreaktioner, och kan exempelvis påvisas med scintillationsdetektor (se ovan).

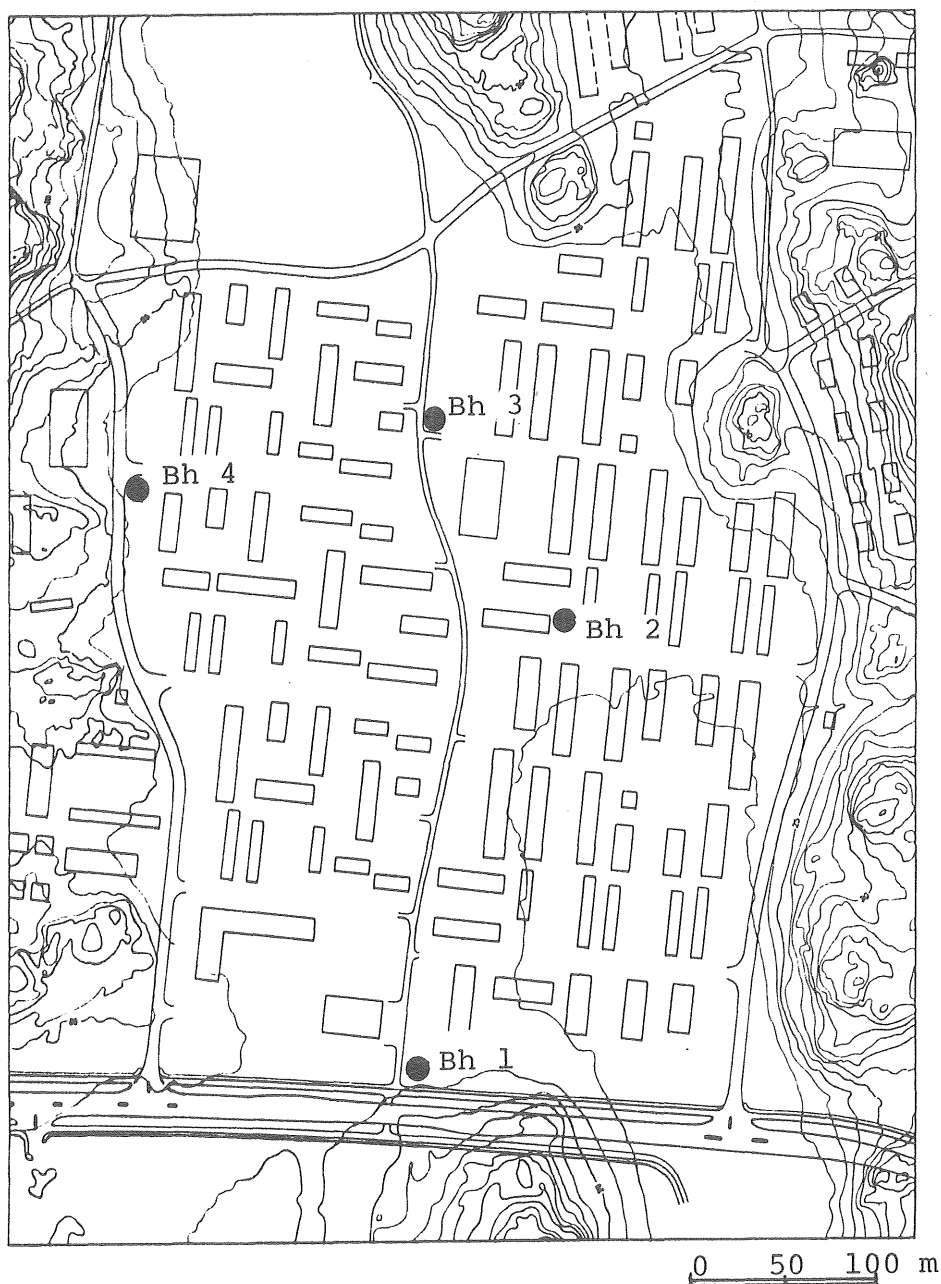
Till vätets gynnsamma egenskaper som neutronbroms bidrar även den omständigheten att väte endast har en svag tendens att absorbera neutroner. Intensiteten av termiska neutroner kommer därför att bli hög kring en neutronkälla nedsänkt i ett material med hög vätehalt.

De i naturliga svenska jordar, och då i synnerhet grus- och sandjordar, förekommande moderatorerna utgörs så gott som uteslutande av väte. I oorganiska jordarter förekommer väte bundet som vatten, varför markens vattenhalt är bestämmande för intensiteten av termiska neutroner kring en nedsänkt neutronkälla. En hög vattenhalt medför sålunda hög intensitet av termiska neutroner och tvärt om. Liksom vid densitetsmätningen gäller att mätvärdet blir ett medelvärde, som representerar sondens närmaste omgivning. En 30 cm Ci neutronkälla mäter sålunda inom en sfär med en radie av cirka:

- 10 cm i vatten
- 15 cm i vattenmättad sand
- 20 cm i luft
- 40 cm i torr sand

## 2.5 Observationsnät

Inom Bratthammarområdet har markvattenmätning genomförts på fyra mätplatser, vilkas läge framgår av figur 5-2. På



*Figur 5-2 Karta över Bratthammarområdet med markvattenobservationsrörens placering.*

tre platser har 2" järnrör med slutna spets slagits ned ca 2,5 m under markytan. Rören är totalt tre meter långa. Den fjärde mätplatsen utgörs av grundvattenrör 23, vilket likaledes är ett 2" järnrör.

#### Mätrör 1

Mätröret är placerat nära dagvattenkylverten från området. Röret utgöres av grundvattenrör 23. På grund av kylverten

är grundvattennivån i friktionsmaterialet under leran här avsänkt till mera än 2 m under markytan, vilket är förutsättningen för rörets utnyttjande för markvattenmätningar.

Röret når 2,8 m under markytan. Från markytan till ca 20 cm utgörs jordprofilen av en lérig matjord. Därunder följer ca 50 cm torrskorpelera varunder följer den opåverkade leran. Underst bedöms leran ha inslag av friktionsmaterial.

#### Mätrör 2

Mätröret är placerat i en mindre plantering centralt bland husen och är därigenom omgärdat av flera perkolationsmagasin. Planteringen utnyttjades även för placering av annan mätutrustning såsom nederbördsräkare, porttrycksmätare, filterspetsar och sättningsmätare. Från markytan till ca 20 cm utgöres jordlagren av matjord. Därunder följer ca 50 cm fyllning varunder följer lera.

#### Mätrör 3

Mätröret är placerat i en större gräsmatta centralt inom den norra delen av området. Mätröret ligger endast 7-8 meter från huvudkulverten. Jordlagren utgöres överst av ca 10 cm matjord varunder följer ca 30 cm fyllning bestående av byggavfall och sprängsten. Därunder följer den opåverkade leran.

#### Mätrör 4

Mätröret är placerat vid den västra dalsidan i anslutning till tomtmark. Röret placerades i den frilagda leran sedan matjorden avbanats. På leran har därefter påförts fyllning med sand och matjord. Jordlagren utgöres således av 20 cm matjord och 30 cm sand varefter följer den ursprungliga leran.

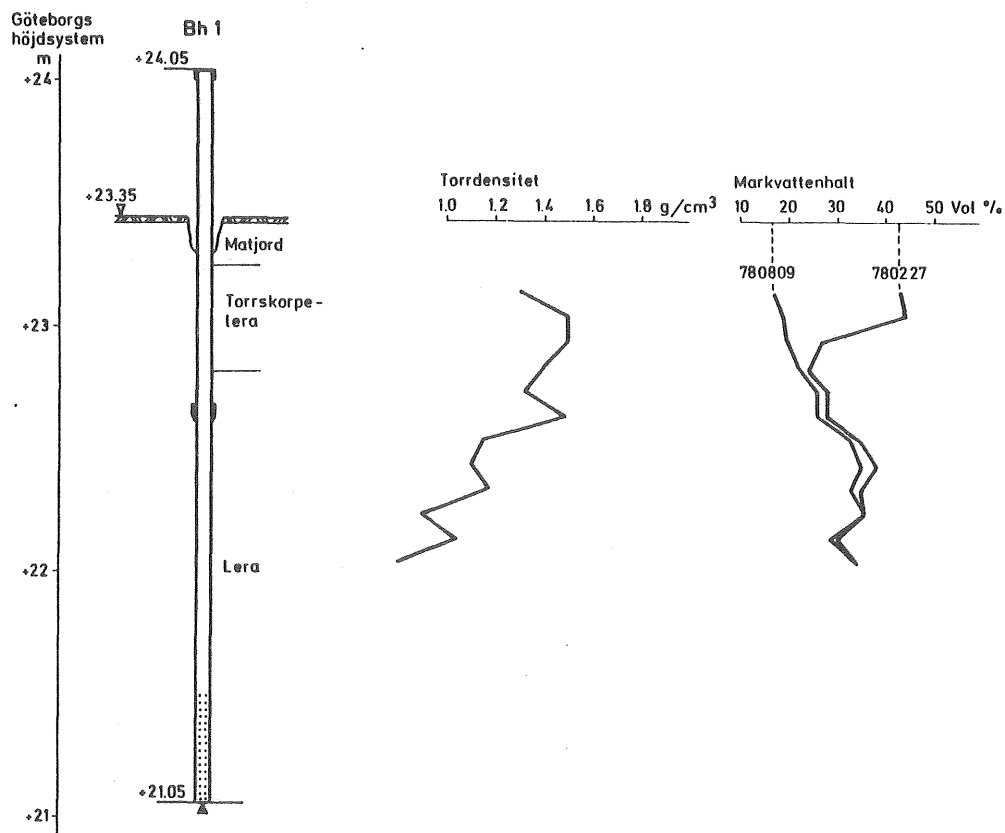
Sedan rören 2-4 satts ut i juni 1977 påbörjades mätningarna. Inledningsvis genomfördes mätning av densitet och vattenhalt i varje rör. Vad beträffar densiteten visade det sig att fel på registreringsenheten orsakade felaktiga värden varför ny densitetsmätning med åtföljande omräkning av vattenhaltsvärdena fick företas under juni 1978. Vattenhaltsmätningarna genomfördes regelbundet i alla rören en gång i månaden fram till september 1978. Mätpunkterna för sonden ligger i varje rör på var 10:e cm ner till ett djup av 130-160 cm under markytan. Den översta mätpunkten ligger på varierande djup 20-30 cm under markytan. Vid mätningen har huven eller den översta rörlängden avmonterats varefter en platta för den radiometriska sonden skruvats på röränden.

Den principiella gången vid utvärdering av mätvärden har beskrivits i föregående avsnitt. Som nämnts har ett enkelt dataprogram avsett att köras på en minidator typ HP 98 använts för att utvärdera de rutinmässiga vattenhaltsmätningarna. Sedan siffervärdena beräknats har en vattenhaltsprofil ritats upp för varje rör och varje mättillfälle. Vattenhaltens variationer har åskådliggjorts dels i form av kurvor för vattenhaltsvärden på de olika mätnivåerna vid samma mättillfälle dels i form av kurvor för vattenhaltens variation på samma mätnivå vid skilda tidpunkter.

Markvattenhalten har som förut beskrivits bestämts på var 10:e cm i 4 mätrör en gång i månaden under drygt ett år. På detta sätt har en avsevärd informationsmängd inskaffats. Vid bedömning av mätresultaten har uppmätta absolutvärden inte utnyttjats eftersom de inte kan anses helt tillförlitliga. Orsak härtill är dels de inhomogena fyllningsjordarna i de översta marklagren dels

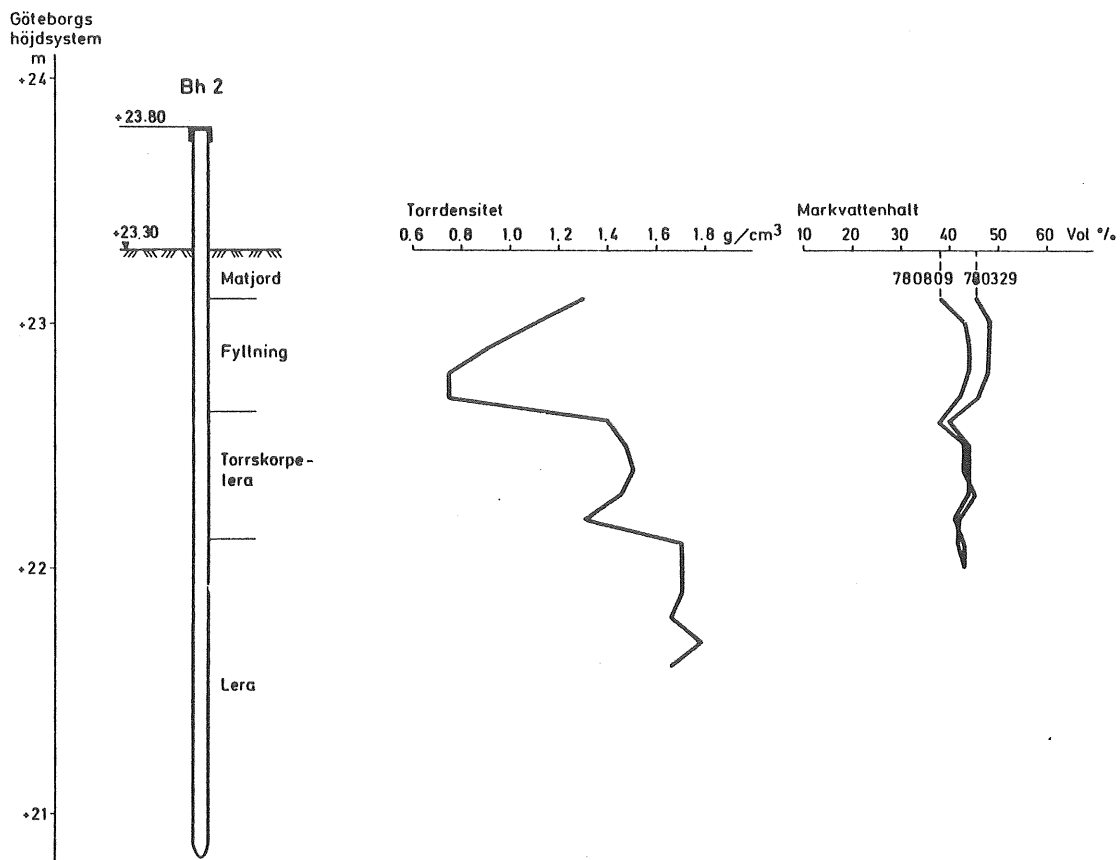
att sondens kalibrering inte är exakt. Det senare har undersökts i ett opåverkat område i Angered, Göteborg. Jämförelse med värden erhållna med provtagning visar att sondens värden avviker såväl oregelbundet som i viss mån systematiskt (Engdahl, 1975).

Uppmätta variationer i markvattenhalten redovisas dels som max- och minimitillfällena i figur 5-3 till 5-6, dels som variationer med tiden för de översta mätnivåerna i figur 5-7 till 5-10.



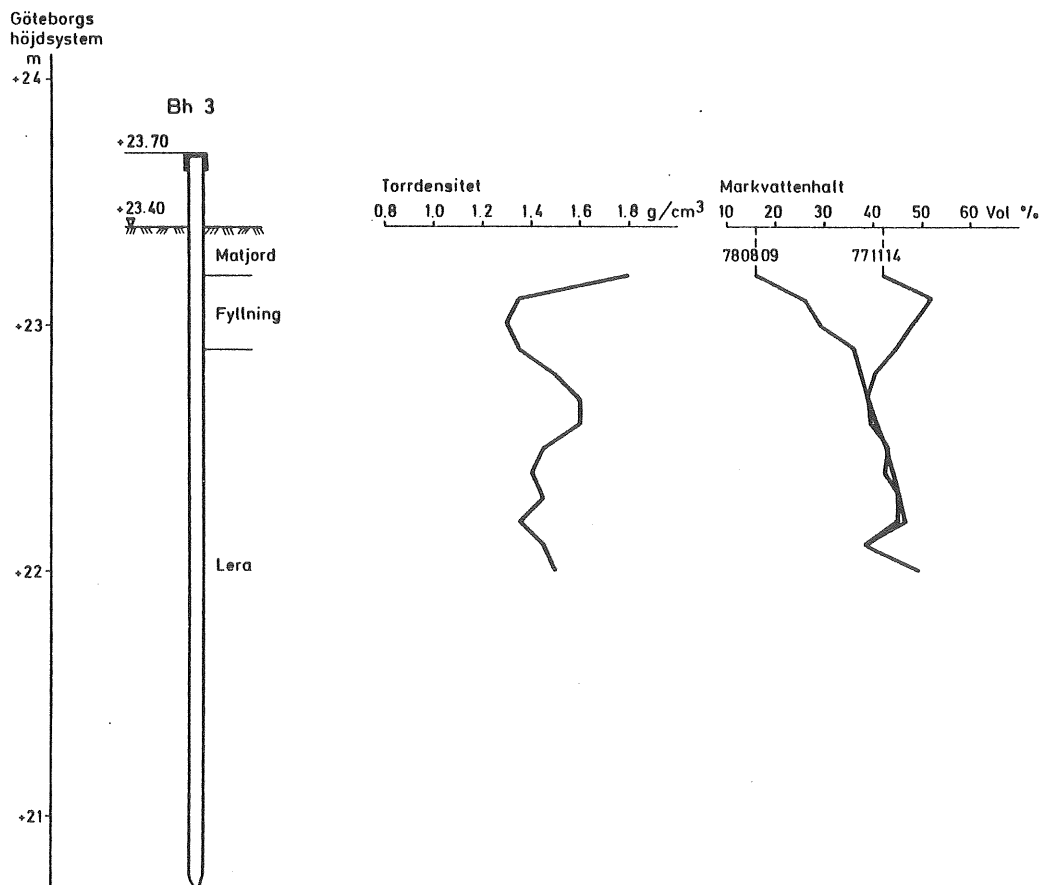
Figur 5-3

Markprofil vid rör Bh1 (grundvattenrör 23). Uppmätta värden för torrdensitet samt vattenhalt vid två extrema tillfällen.



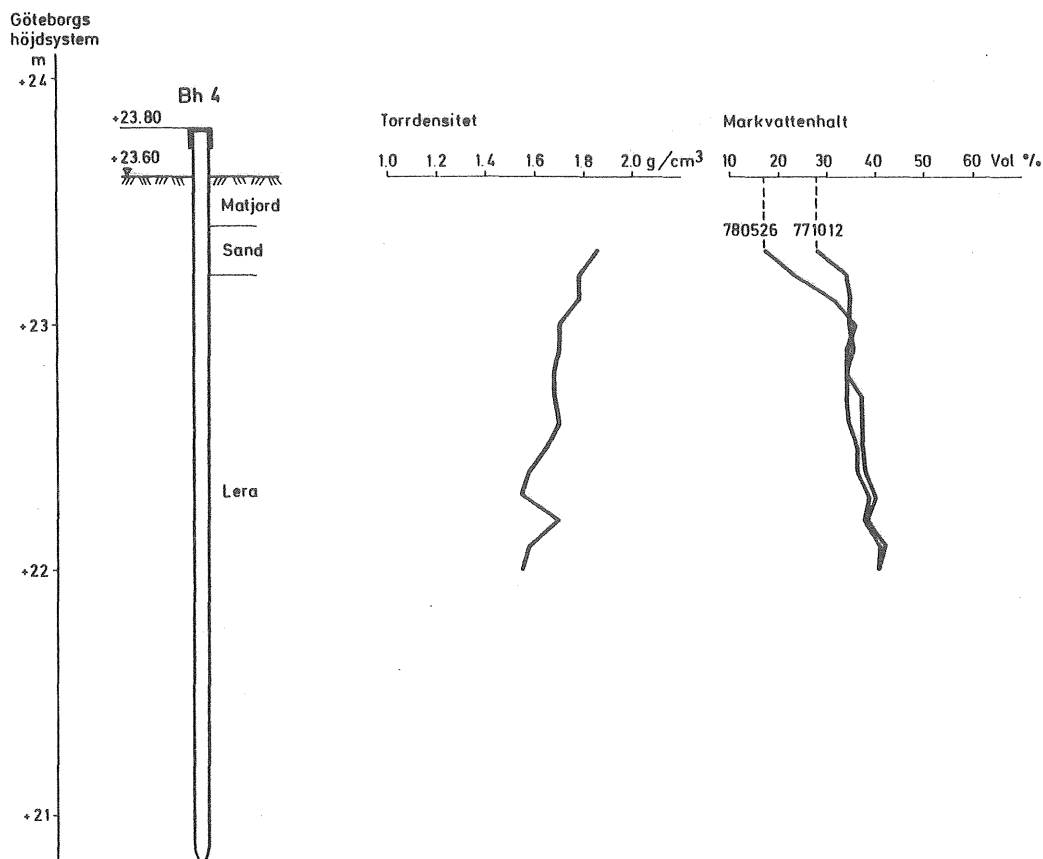
Figur 5-4

Markprofil vid rör Bh2. Uppmätta värden för torr-  
densitet samt vattenhalt vid två extrema tillfällen.



Figur 5-5

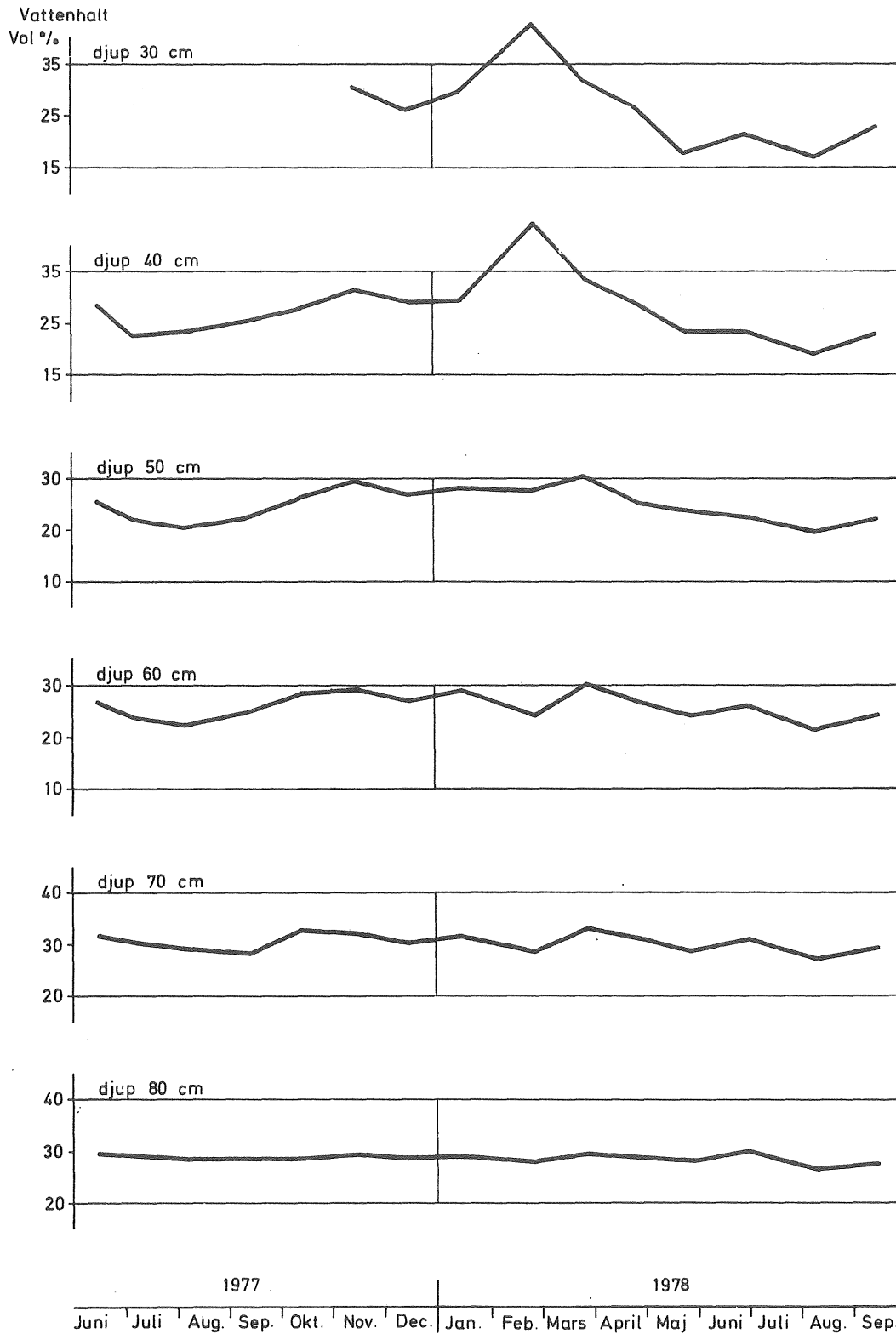
Markprofil vid rör Bh3. Uppmätta värden för torr-  
densitet samt vattenhalt vid två extrema tillfällen.



*Figur 5-6 Markprofil vid rör Bh4. Uppmätta värden för torrdensitet samt vattenhalt vid två extrema tillfällen.*

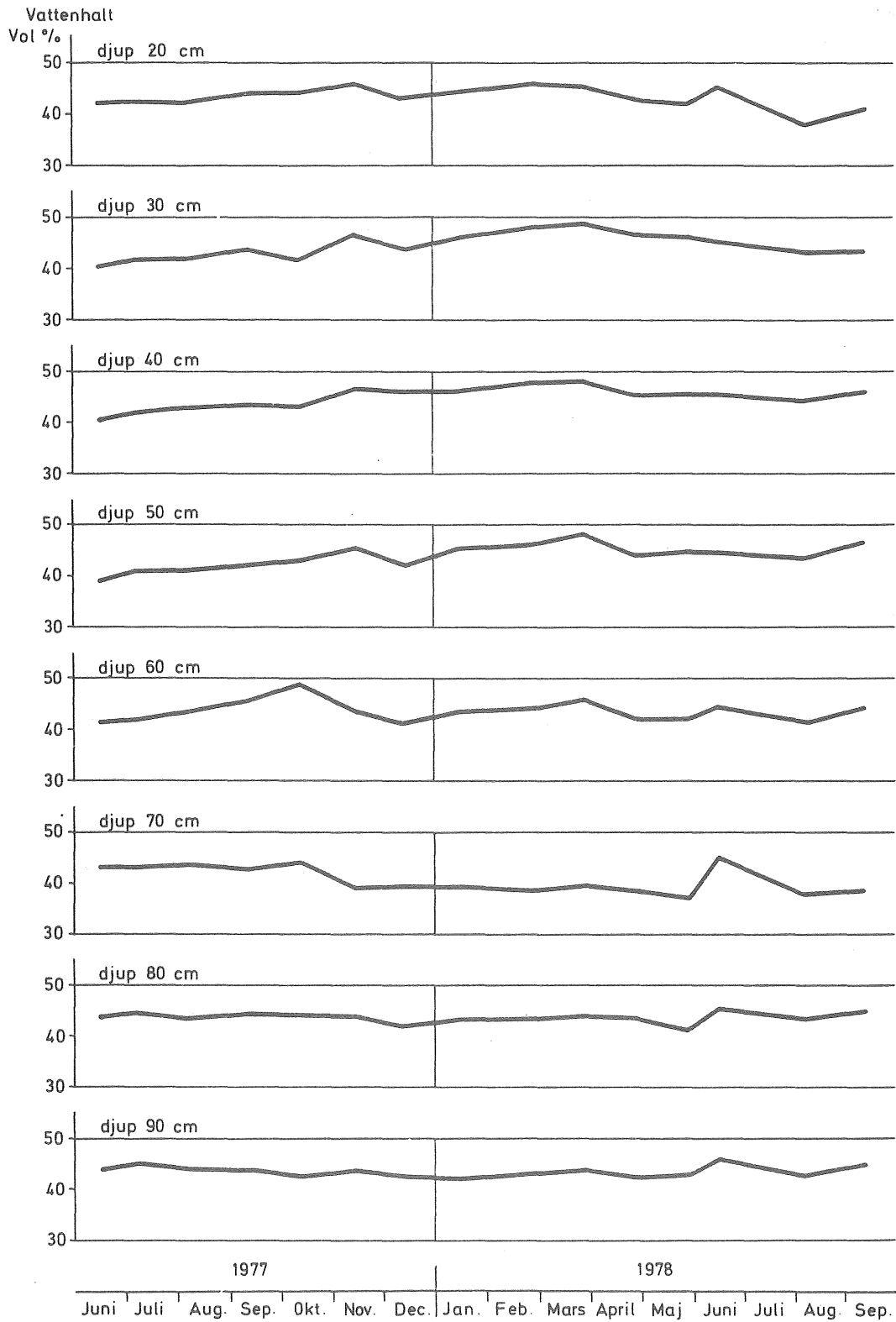
Den vidare bearbetningen av mätdata har inriktats på att få fram storleksordningen av markvattenmagasinets variation. De mättillfällen då jordprofilen för ett visst mätrör visat de genomgående lägsta respektive högsta vattenhalterna (se figur 5-3 till 5-6) har utvalts för vidare beräkningar. Denna urvalsmetod ger inte de absoluta minimi- eller maximivärdena för varje enskild nivå under den betraktade perioden. Vid beräkningen tänks markprofilen skiktad i 10 cm tjocka skivor med en yta av 1 m<sup>2</sup>. Uppmätta vattenhaltsvärden för var 10:e centimeter representerar i beräkningarna vardera en sådan skiva. Som tidigare angivits representerar egentligen varje mätvärde en sfär med radien 15 å 20 cm. Mätningar med radiometrisk djupsond har ej utförts närmare markytan än 20 cm. Därför har vattenhalten i profilen mellan högsta mätpunkten och markytan i beräkningarna antagits ha samma värde som för högsta mätpunkten. Denna approximation ger sannolikt ett för lågt värde på största magasinvariationen, eftersom de ytliga lagren förmodligen är våtare resp torrare vid extrempfallen än vad som framgår av





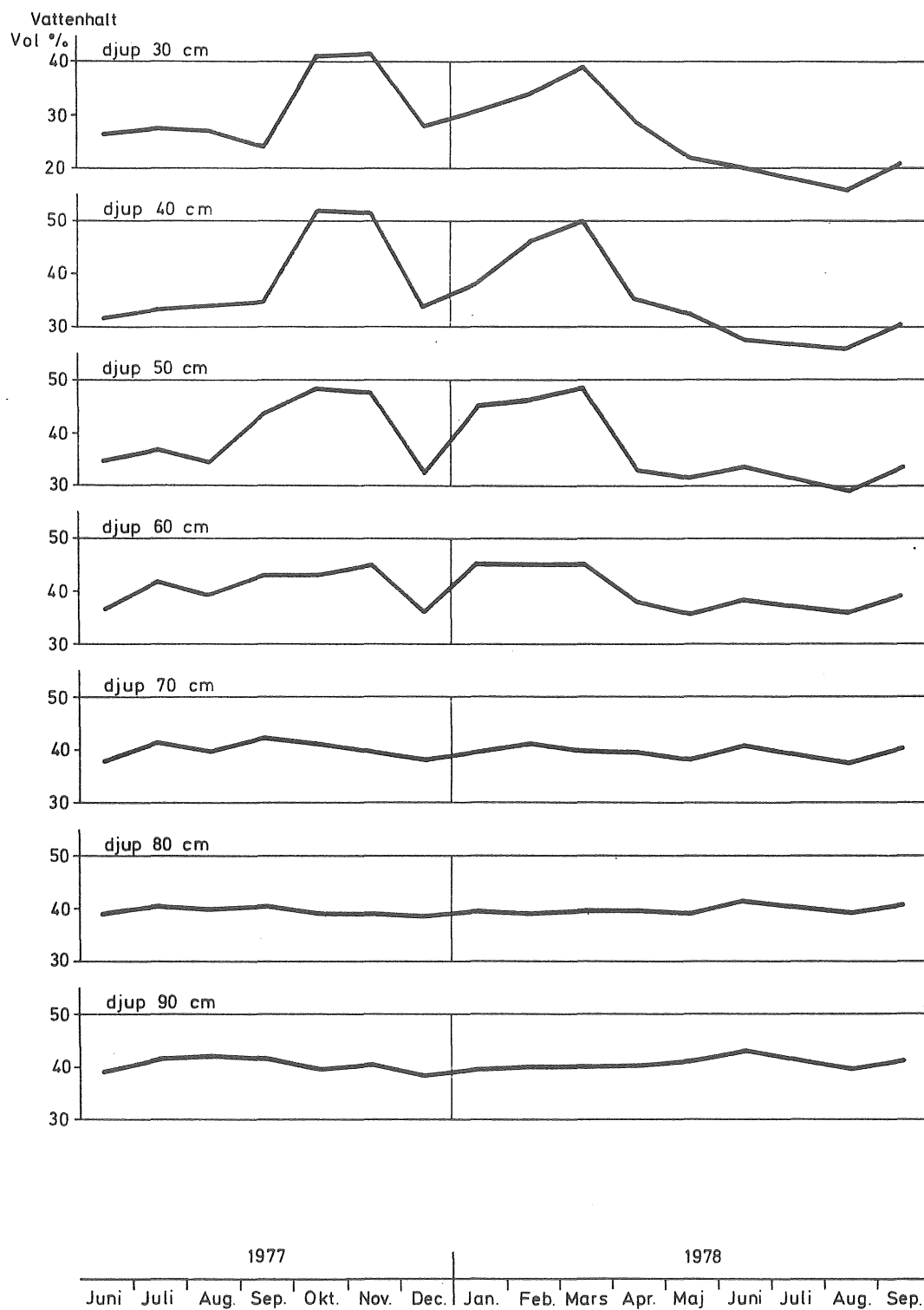
Figur 5-7

Rör Bh1. Vattenhalt som funktion av tiden vid olika djup under markytan.



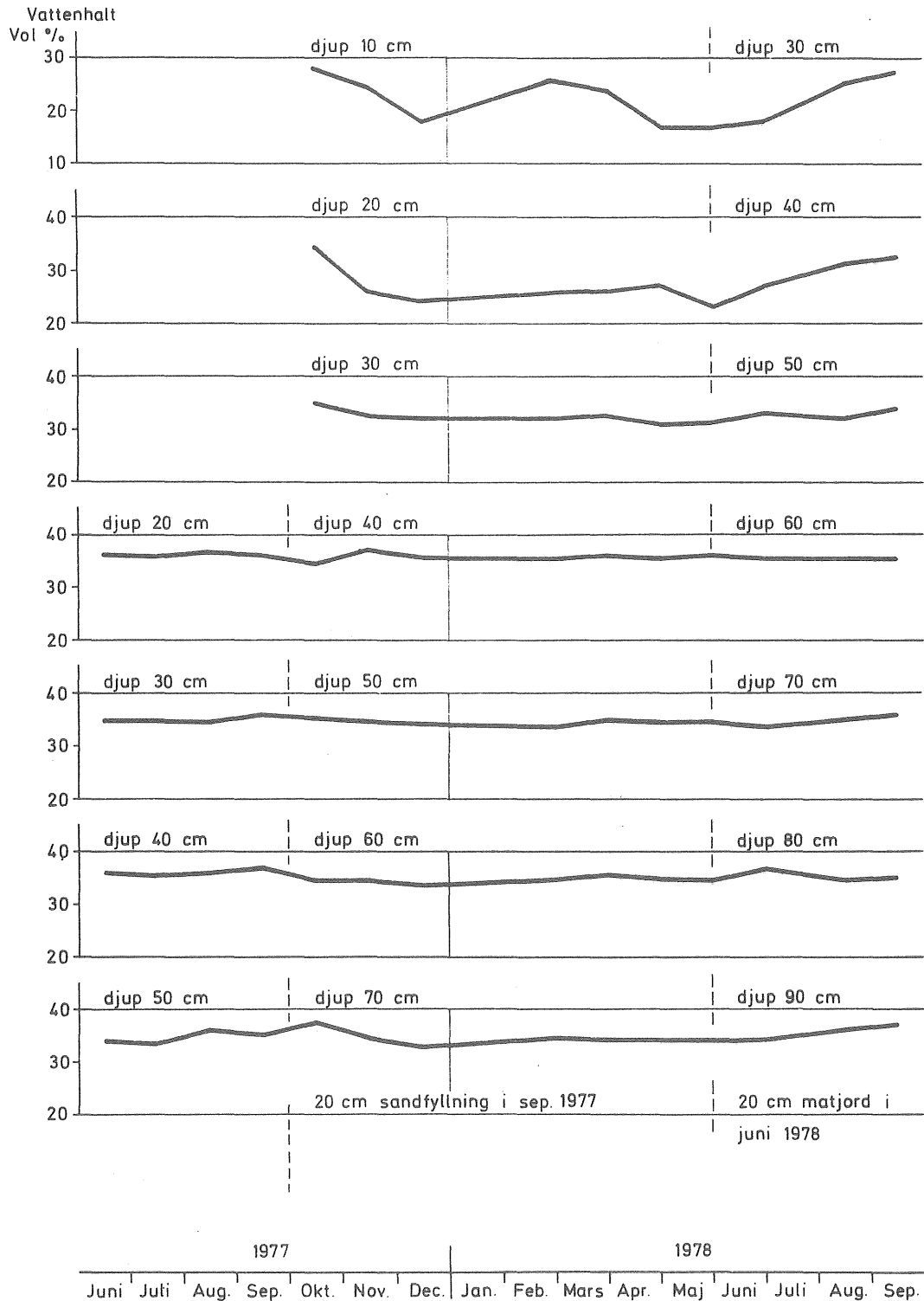
Figur 5-8

Rör Bh2. Vattenhalt som funktion av tiden vid olika djup under markytan.



*Figur 5-9*

*Rör Bh3. Vattenhalt som funktion av tiden vid olika djup under markytan.*



Figur 5-10

Rör Bh4. Vattenhalt som funktion av tiden vid olika djup under markytan.

högsta mätpunkten. Som undre begränsning för den beräknade profilen har valts den nivå där variationen i vattenhalt sjunkit till mindre än 2%.

#### Mätrör\_1 (figur 5-3 och 5-7)

I rör Bh1 är variationen i vattenhalt på nivåer djupare än 100 cm mindre än 2% vilket är att betrakta som metodens mätnoggrannhet. Vid nivån 30 cm under markytan är skillnaden i vattenhalt 20%. Vid 50 cm:s djup är den 6% för att vid 70 cm ha sjunkit till 3%. Variationerna följer den naturliga årsvariationen som grunddrag. Ökningen i markvattenhalten tycks slå igenom på hela den varierande profilen med en mot djupet allt mindre amplitud. Någon noggrannare analys av förloppet kan av naturliga skäl inte göras med den använda mättingsintensiteten. En större intensitet i mätningarna torde även ha visat en direkt reaktion på kraftiga nederbördstillfällen.

Vattenhalten når sitt minimum under perioden augusti - september. Därefter sker en långsam uppgång till en första topp under senhösten. Från december sker en svag nedgång fram till mars månad. I samband med snösmältningen sker en kraftig uppgång av vattenhalten. Efter snösmältningen avsänkning till i närheten av miniminivån under juni. Under sommarmånaderna juni - augusti varierar vattenhalten något kring miniminivån troligen beroende på inverkan av kraftig nederbörd.

Den för magasinsvariation beräknade profilen når från markytan till 120 centimeters djup. Från markytan till 50 cm har markmagasinet varierat med  $0,110 \text{ m}^3$ . Mellan 50 cm och 120 cm har variationen varit  $0,015 \text{ m}^3$ . Totala variationen uppgår alltså till  $0,125 \text{ m}^3$  eller uttryckt som nederbörd 125 mm.

#### Mätrör\_2 (figur 5-4 och 5-8)

I rör Bh2 är variationen i vattenhalt mindre än i de övriga rören. Variationer i vattenhalt har dock registrerats djupare än i rör Bh1. Variationen är för de översta

70 centimetrarna 7-9%. Från 80 cm till 130 cm sjunker variationen från 6% till 3% varför det är troligt att de försvinner vid ca 150 cm:s djup. Variationerna följer den naturliga årscykeln mycket väl med maxvärden under oktober - november och mars och minimum under sommaren. Undantag utgör den kraftiga uppgången vid junimätningen 1978. Denna uppgång är tydlig på nivån 20 cm och nivåerna 70-90 cm men syns även till 130 cm:s djup. Uppgången kan möjligen förklaras med enbart nederbörd då det under den föregående sjudagarsperioden föll ca 20 mm efter en mycket nederbördsfattig vår. Någon så kraftig uppgång för motsvarande nederbördsmängd finns dock inte registrerad vid andra tillfällen varför mätfel inte kan uteslutas för junimätningen 1978. Uppgången finns även registrerad i rör Bh3 där mätning utfördes vid samma mätillfälle 16/6 1978. En mindre uppgång finns registrerad vid de två andra rörens mätning 30/6 1978. Gemensamt för dessa mätningar är att gammakällan är påkopplad då densitetsmätning utfördes under juni 1978.

Den för magasinsvariation beräknade profilen når från markytan till 70 centimeters djup. Variationen uppgår totalt till 0,037 m<sup>3</sup> eller uttryckt som nederbörd 37 mm.

### Mätrör 3 (figur 5-5 och 5-9)

I rör Bh3 är variationen i vattenhalt mycket stor inom de översta 60 centimetrarna för att vid 70 cm minska kraftigt. Vid nivåerna 20 och 30 cm uppgår variationerna i vattenhalt till 25% mellan maxvärdet i oktober - november 1977 och augustivärdet 1978. Vid 40 cm:s nivå är variationen 20% för att sedan halveras för varje mätnivå så att den vid 60 cm är ca 5%. Mellan 60 cm och 110 cm är variationen kring 5%. Maxvärdet uppträder på dessa djup i september 1978 och minvärdet i juni 1977. Från 120 cm är variationen mindre än 2% med undantag för nivån 130 cm under markytan där vattenhalten plötsligt sjunker med 10% någon gång under oktober - november 1977. Variationerna följer den naturliga årscykeln mycket väl med maxvärden i oktober - november och vid snösmältningen i mars. Minimivärdet uppträder i augusti. Att variatio-

nerna är så stora i den översta halvmeteren torde bero på håligheter i fyllnadsmassorna.

Den för magasinsvariation beräknade profilen når från markytan till 70 centimeters djup. Variationen i vattenhalt uppgår till  $0,120 \text{ m}^3$  eller uttryckt som nederbörd 120 mm.

#### Mätrör 4 (figur 5-6 och 5-10)

Rör Bh4 är det rör som under mätperioden varit utsatt för störst påverkan från själva byggandet. Röret som står inom etapp 3 av Bratthammarområdets utbyggnad är placerat inom ett område där matjorden och troligen torrskorpan i leran tagits bort under våren 1977. Leran har av denna anledning varierat mycket lite i vattenhalt då ytsprickor inte hunnit utbildas till mätdjupet under första sommaren. Under hösten 1977 påfördes fyllning i form av sand i området kring röret. Sanden har en naturlig porositet vilket medförde att vattenhalten började variera som vid naturliga förhållanden. I början av juni 1978 påfördes 20 cm matjord ovanpå sanden. Om detta påverkat markvattenvariationen kan inte utläsas ur mätserien. Variationen i matjorden och de översta 10 centimetrarna av sanden har antagits vara likartade som de följande 20 centimetrarna. Vattenhalten i sanden varierar med 10%. Maxvärdet inträffar under oktober 1977 och september 1978. Även i mars 1978 är vattenhalten hög. Minimum inträffar under december 1977 och juni 1978. I gränsskiktet sand-lera är variationen likartad 10% med maxvärde oktober 1977 och september 1978, minimum under juni 1978. I leran är variationerna små och uppgår till ca 5% ner till ett djup av 100 cm under markytan. Djupare än 100 cm är variationerna mindre än 2% med undantag av nivån 140 cm under markytan där den uppmätta vattenhalten i ett slag sänks med 5% under november 1977.

Den för magasinsvariation beräknade profilen når från markytan till 60 centimeters djup. Variationen uppgår till  $0,050 \text{ m}^3$  eller uttryckt som nederbörd 50 mm. På

djupen 70-90 cm är variationen obetydlig, medan variationen på djupen 100-150 cm motsvarar ca 10 mm nederbörd. Stora delar av dessa kan dock vara mätfel då variationerna ligger kring 2%.

## 5                   UTVÄRDERING OCH SAMMANFATTNING

Markvattenhaltsvariationerna har vid de fyra mätplatserna konstaterats huvudsakligen äga rum inom den översta metern av markprofilen. Variationerna är störst nära markytan för att sedan avta mot djupet. Huvuddelen av variationerna sker i den översta halvmetern. Under 1 meters djup är vattenhalten tämligen konstant. Detta är naturligt med hänsyn till torrskorpans utbildning i leran och påverkan av markarbeten inom området.

Det finns påtagliga skillnader i storleken av markvattenmagasinets variationer mellan de olika rören. Variationerna är sålunda väsentligt större i rör 1 och 3 än i rör 2 och 4. Rör 1 och 3 ligger långt från perkolationsmagasin men nära dagvattenkulverten genom området. Rör 1 ligger på sluttningen mot dalbotten i tämligen orörd mark. Rör 3 ligger i dalgångens lågpunkt med fyllning på lerans torrskorpa. Rör 2 och 4 ligger nära perkolationsmagasin och omgärdas delvis av sådana. Rör 4 ligger på sluttningen mot dalbotten. Torrskorpan har delvis schaktats bort och fyllning lagts på. Rör 2 ligger i dalgångens lågpunkt med fyllning på torrskorpan.

Fyra mätrör är givetvis alltför få för att tillåta några generella slutsatser. Med hjälp av erhållna resultat ligger det emellertid nära till hands att anta att perkolationsmagasinen genom sin tillförsel av vatten till markprofilen minskar variationerna i markvattenmagasinet. Dagvattenkulverten däremot verkar dränerande och ökar därigenom variationerna.



- Engdahl M, 1975. Bestämning av infiltrationskapacitet i främst lerjordar inom Angered, Göteborg. Geologiska institutionen CTH/GU, publ B49.
- Ericsson LO, Hård S, 1978. Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. Geohydrologiska forskningsgruppen CTH, meddelande nr 32.
- Holmstrand O, Wedel P, 1976. Markvattenundersökningar i ett urbant område. Geohydrologiska forskningsgruppen CTH, meddelande nr 17.
- Isotopteknik inom markfysik och geohydrologi, 1963, del 1. Radiometrisk metod. Grundförbättring årg 16 nr 4.

BILAGA 6

SID

## PORTRYCK OCH SÄTTNINGSMÄTNING

Innehåll

1	SYFTE	140
2	MÄTNINGSANORDNINGAR	141
2.1	Äldre portrycksmätare	141
2.2	Portrycksmätare av typ BAT	141
2.3	Sättningsmätare	143
3	MÄTNINGARNAS GENOMFÖRANDE	144
3.1	Äldre portrycksmätare	144
3.2	Portrycksmätare typ BAT	144
3.3	Sättningsmätare	145
4	RESULTAT	145
4.1	Äldre portrycksmätare	145
4.2	Portrycksmätare typ BAT	148
4.3	Sättningsmätare	156
5	UTVÄRDERING OCH SAMMANFATTNING	157

## 1 SYFTE

Jordlagren i Bratthammar består till största delen av lera. Eftersom denna är mäktig, delvis mera än 20 m, och mestadels normalkonsoliderad behövs endast små störningar för att betydande sättningar skall uppträda. Sättningarna kan förorsakas av en lastökning på leran. Sådan lastökning kan i sin tur ha flera orsaker, t ex direkt belastning genom byggnader, utfyllnader osv, eller sänkning av grundvattennivån antingen i friktionsmaterialen under leran eller i torrskorpan i lerans yt-skikt.

Ett av de största problemen vid exploateringen av Bratthammar-dalgången var risken för sättningar i lerlagren. Till följd härav stödpålades husen och området försågs med perkolationsmagasin för dagvattnet. Dessa åtgärder garanterade emellertid varken att sättningar helt skulle kunna undvikas eller att eventuella sättningar inte skulle förorsaka skador. Det var sålunda angeläget att kunna konstatera om och när sättningar uppträdde i området.

För att följa direkta rörelser installerades sättningspeglar på några ställen i området. Tyngdpunkten lades emellertid på portrycksmätningar, eftersom dessa både kan ge en uppfattning om storleken av eventuella störningar och orsaken. Sättningsförlopp är dessutom långsamma, medan förändringar i portrycksförhållandena kan registreras snabbt. Portrycksmätningarna kan dessutom användas för bedömning av geohydrologiska förhållanden i området, om de sätts i relation till övriga mätningar exempelvis av grundvattennivå och sprickvattennivå.

## 2 MÄTNINGSANORDNINGAR

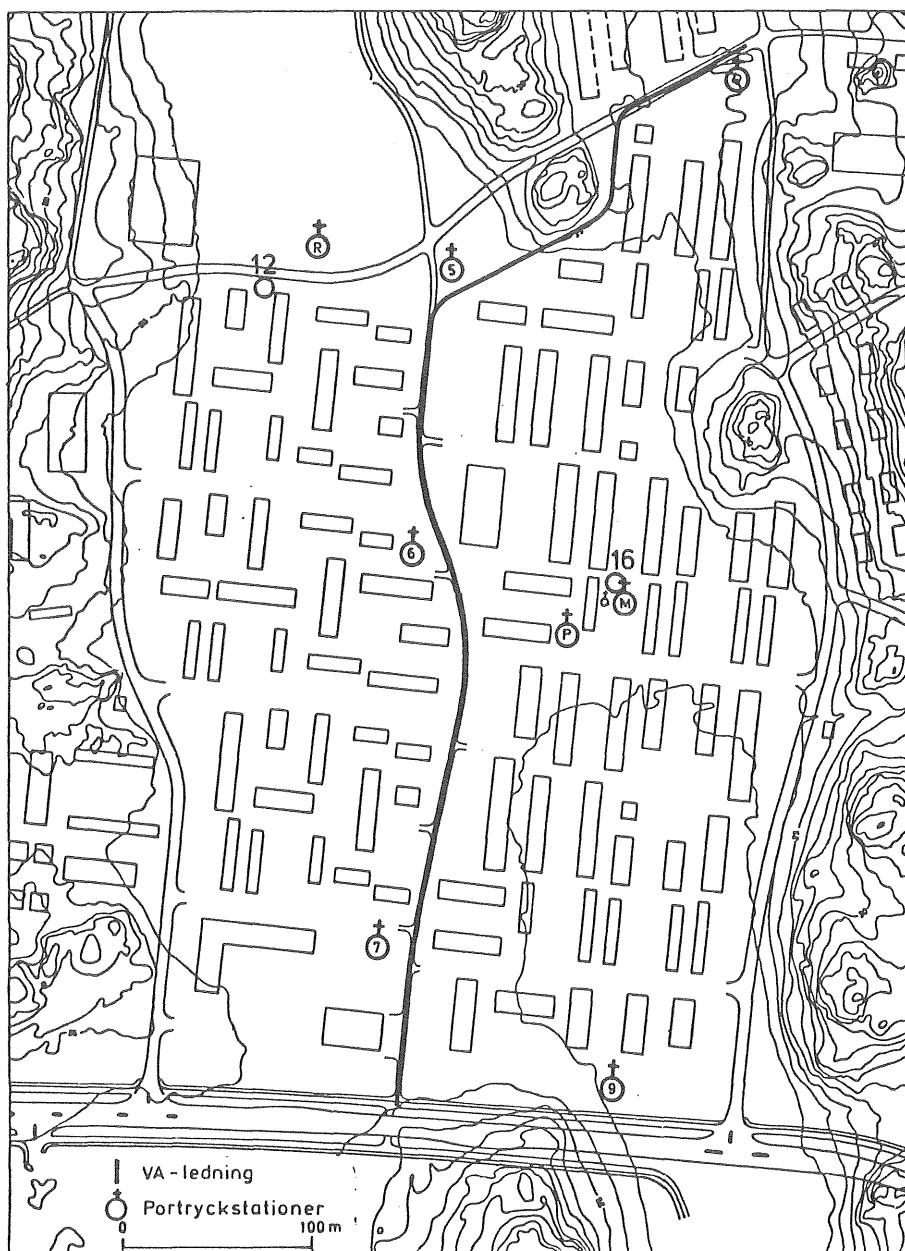
### 2.1 Äldre portrycksmätare

Sedan 1973 har porvattentrycket uppmätts invid VA-verkets huvudledning, som går centralt genom Bratthammar. Porvattentrycket har uppmätts vid 5 stycken mätstationer på 2,5 och 5 m djup under markytan. Mätstationernas läge framgår av figur 6-1. Mellan september 1973 och december 1976 uppmättes portrycket med portryckspetsar av s k svängande strängtyp (Geotech). Mätarna har tryckts ned till önskat mätdjup och avläsning har sedan skett efter några dagar, när mätarna har förväntats stabiliserat sig. Efter avslutad mätning har spetsarna åter dragits upp. Under hösten 1976 ersattes portryckspetsarna av s k svängande strängtyp med stationära filterspetsar. Filterspetsarna består av sandepoxifyllda perforerade stålspetsar till vilka en 4 mm plastslang kopplats. Filterspetsarna fungerar på samma sätt som öppna grundvattenrör och portrycket avläses som vattennivån i plastslangen.

### 2.2 Portrycksmätare typ BAT

I juni 1977 påbörjades portrycksmätningar inom projektet "Lokalt omhändertagande av dagvatten". Instrumenteringen omfattar 10 stycken portryckspetsar. Fem stycken spetsar sattes som en portrycksprofil, station P, figur 6-1. Portryckspetsarna nedfördes till djupen 1,5, 4, 7, 10 respektive 13 m under markytan. Under parkeringsmagasinet sattes 4 stycken portryckspetsar, station M, figur 6-1, på nivåerna 1,5, 2, 3 respektive 4 m under markytan. Ytterligare en mätspets sattes 1,5 m under parkeringsplatsen mellan magasinstationen (M) och portrycksprofilen (P).

I april 1978 installerades ytterligare en portrycksstation, station R, figur 6-1. Stationen är belägen i anslutning till en lekplats utanför bebyggelseområdet. Avsikten var att installera en referensstation för portrycksre-

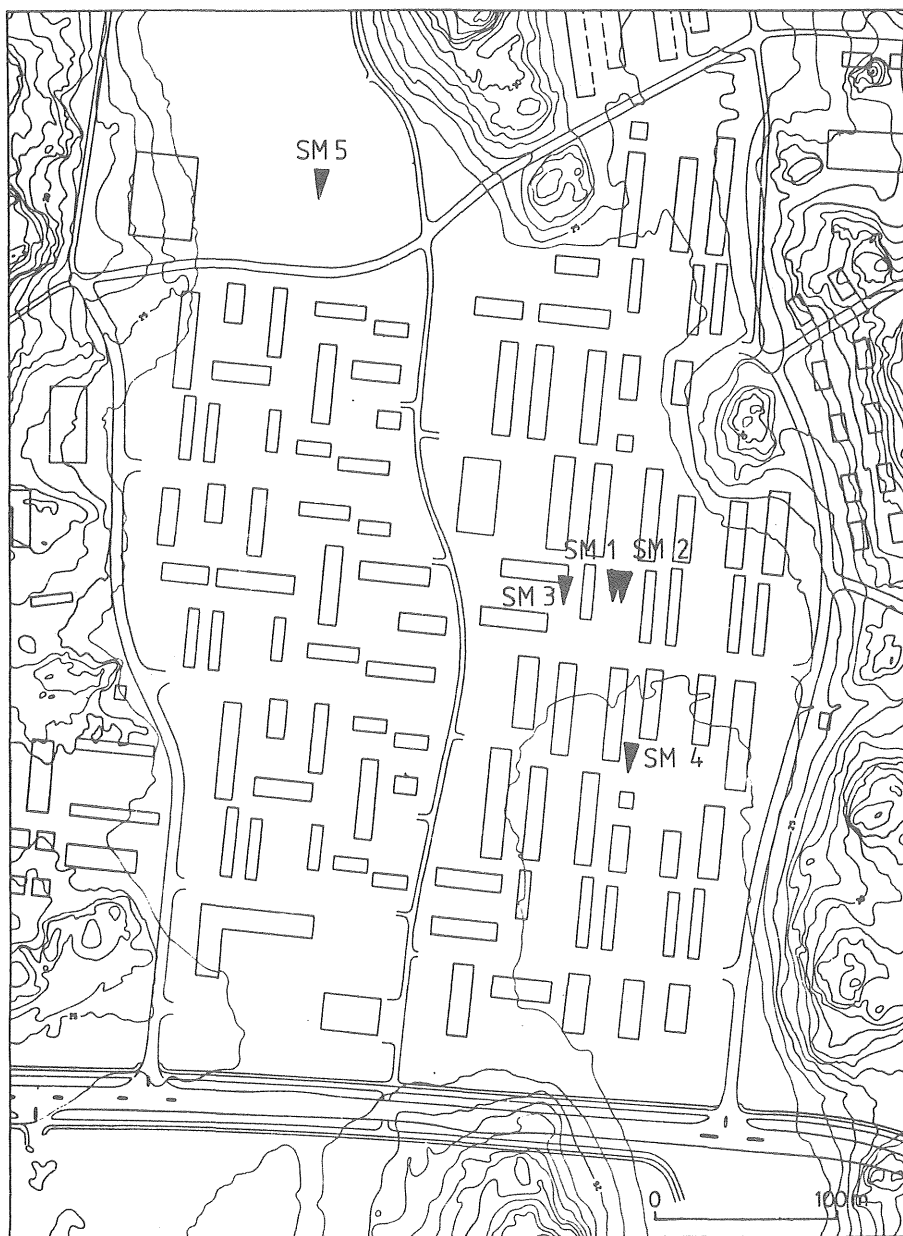


*Figur 6-1 Portrycksstationernas lägen i Bratthammarområdet.*

gistrering utanför det direkta bebyggelseområdet. Stationen utgörs av 4 portryckspetsar på djupen 1,5, 3,5, 6,5 respektive 10,5 m under markytan.

Mätutrustningen för portrycksregistreringen består av stationära filterspetsar, sond med elektrisk tryckgivare samt en digital mätenhet. Filterspetsarna, som är 0,20 m långa, är fästade i 1" järnrör. Vid mätning

föres sonden ned genom röret till portryckspetsen. Portrycket fortplantas via ett keramiskt filter och kanaler till den nedsänkta sonden, där portrycket upptas av den elektriska tryckgivaren. Signalen går via kabel till instrumentet, där mätvärdet avläses.

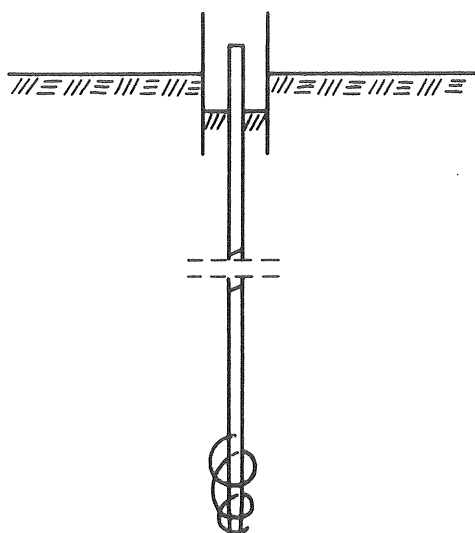


*Figur 6-2 Sättningsmätarnas lägen i Bratthammarområdet.*

### 2.3 Sättningsmätare

I maj månad 1978 installerades 5 stycken sättningsmätare i undersökningsområdet, figur 6-2. Sättningsmätarna är av mekanisk typ och består i princip av en järnstång med

skruv i sin nedre ände. Två sättningsmätare, nr 1 och 2, har satts under parkeringsmagasinet. De sitter på djupen 1,5 respektive 4,5 m under markytan. Övriga sättningsmätare är alla nedförda till 1,5 m under markytan. För att skydda mätarna har de försetts med höljen av 2" rör, figur 6-3.



Figur 6-3      *Principskiss av sättningsmätare. Skruven är nedförd till 1,5 m respektive 4,5 m under markytan. Sättningsmätarens överdel skyddas av ett 2" järnrör.*

### 3      MÄTNINGARNAS GENOMFÖRANDE

#### 3.1    Äldre porttrycksmätare

De äldre porttrycksmätningarna har utförts av Gatukontoret i Göteborg på uppdrag av VA-verket. Mellan september 1973 och december 1976 uppmättes porttrycket med porttryckspetsar av s k svängande strängtyp. Nivåmätningarna i stationära filterspetsar har pågått under tiden december 1976 - september 1977. Mätningarna har gjorts en gång per månad och mätvärdena har uppritats i tidsvariationsdiagram.

#### 3.2    Porttrycksmätare typ BAT

Porttrycksmätningarna påbörjades för porttrycksprofilen, station P, den 3 juni 1977, för magasinstationen, sta-

tion M, den 20 juni 1977 och för referensstationen, station R, den 25 april 1978. Avläsningsfrekvensen är en gång varannan respektive varje vecka. Samtliga mätvärden inplottas på tidsdiagram. I tidsdiagrammen inritas också närstående grundvattenobservationsrör, liksom nederbörden. Portrycksprofiler har uppritats för olika mättillfällen. Vid upprättandet av tryckprofilerna markeras den hydrostatiska trycklinjen utgående från närmaste grundvattenobservationsrör.

Portrycksmätningarna avbröts i november 1978, samtidigt för alla BAT-spetsar.

### 3.3 Sättningsmätare

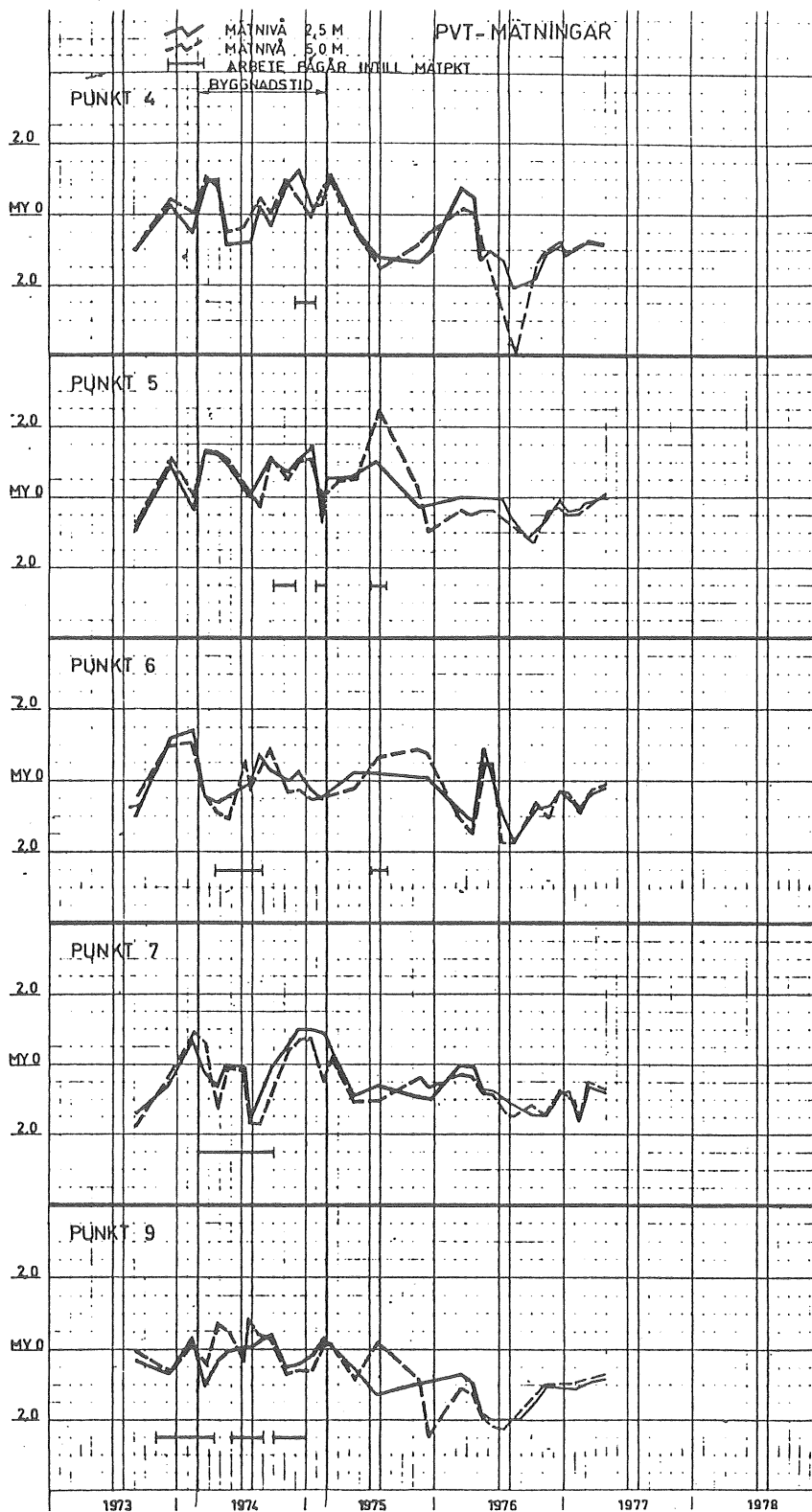
Sättningsmätarna har avvägts vid sex tillfällen. Före avvägningarna har instrumentens noggrannhet kontrollerats. Varje sättningsmätare har vägts av från två punkter med känd höjd. På grund av snöhinder gjordes dock den senaste avvägningen av SM4 från en annan punkt än vid de föregående mätningarna. I övrigt har samma utgångspunkter använts vid avvägningarna.

## 4 RESULTAT

### 4.1 Äldre portrycksmätare

Vissa av de tidigare portrycksmätarna av s k svängande strängtyp har inte fungerat tillfredsställande. Eftersom mätspetsarna ej varit stationära och vissa mätare fungerat mindre bra måste portrycksmätningarna mellan 1973 och 1976 ses som osäkra. Under denna tid har portrycket för samtliga stationer en allmänt sjunkande tendens, figur 6-4. Amplituden är relativt stor, 2-3 m. När ledningsarbetet pågick intill portrycksmätarna, sjönk som regel portrycket. Vid ledningsarbetenas påbörjande fluktuerade portrycken omkring markytan men sjönk sedan till omkring 1 m under markytan. Ledningens byggnadstid sammanföll med ett år,



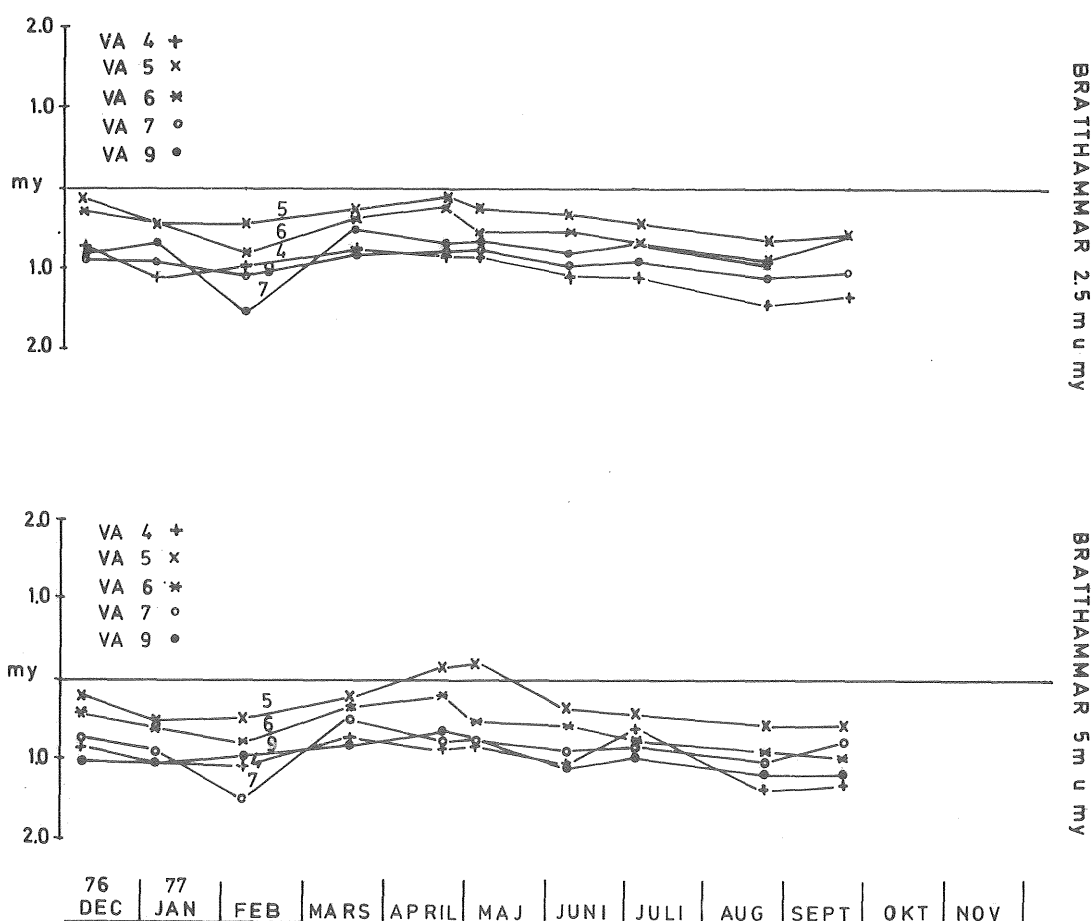


Figur 6-4

Porvattentrycknivåer vid gatukontorets mätstationer Va 4-7 och Va 9 (se figur 6-1) i Bratthammar. Mätare av Geotech-typ.

då nederbörden var över det normala. Efter ledningens färdigställande följde två år med extremt låg nederbörd.

Under hösten 1976 ersattes portryckspetsarna av Geotech-typ med stationära filterspetsar. Dessa spetsar har gett resultat med större tillförlitlighet, figur 6-5. Amplituden är för mätperioden december 1976 till september 1977 relativt liten. Portrycket varierar i stort sett från något under markytan till ca 1,5 m under markytan. Korrelation med tidigare mätningar är relativt god. Mätstation 5 och 6 uppvisar under hela mätperioden högre portryck på båda nivåerna än de övriga stationerna. Ledningens inverkan på portrycket tycks vara obetydlig vid station 5 och 6, medan en viss avsänkning föreligger vid stationerna 4, 7 och 9. Säkrare slutsatser är dock svåra att dra på grund av att portrycken före ledningsarbetenas påbörjande (1973) är dåligt kända.



Figur 6-5

Porvattentrycknivåer vid gatukontorets mätstationer Va 4-7 och Va 9 (se figur 6-1) i Bratthammar. Mätare av filterspetstyp.

## 4.2 Portrycksmätare typ BAT

Samtliga portryckspetsar varierar med årstiden, dock på olika sätt. I det följande kommenteras portrycksvariationerna för stationerna P, M och R.

### 4.2.1 Station P: spets 1-5

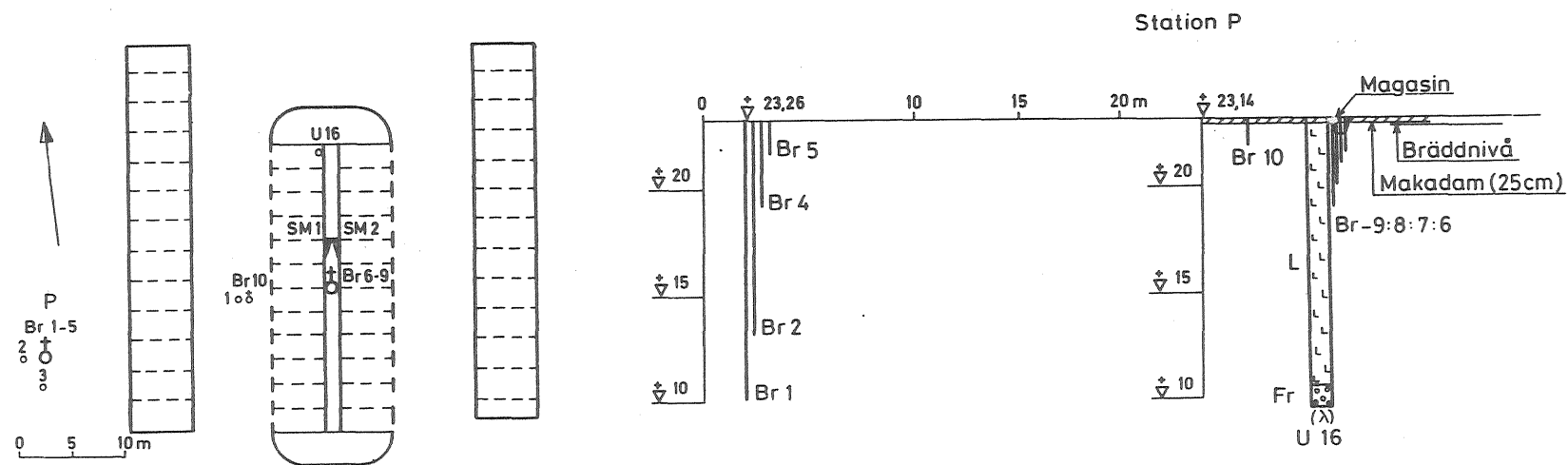
Mätarnas placering i plan och höjd samt en markprofil framgår av figur 6-6. Portrycksprofiler från tre skilda tillfällen framgår av figur 6-7. Porvattentrycknivåns variationer med tiden framgår av figur 6-8.

Portryckskurvorna uppvisar under hela mätperioden små till måttliga amplituder mellan +22,50 och +23,00 m (Göteborgs höjdsystem).

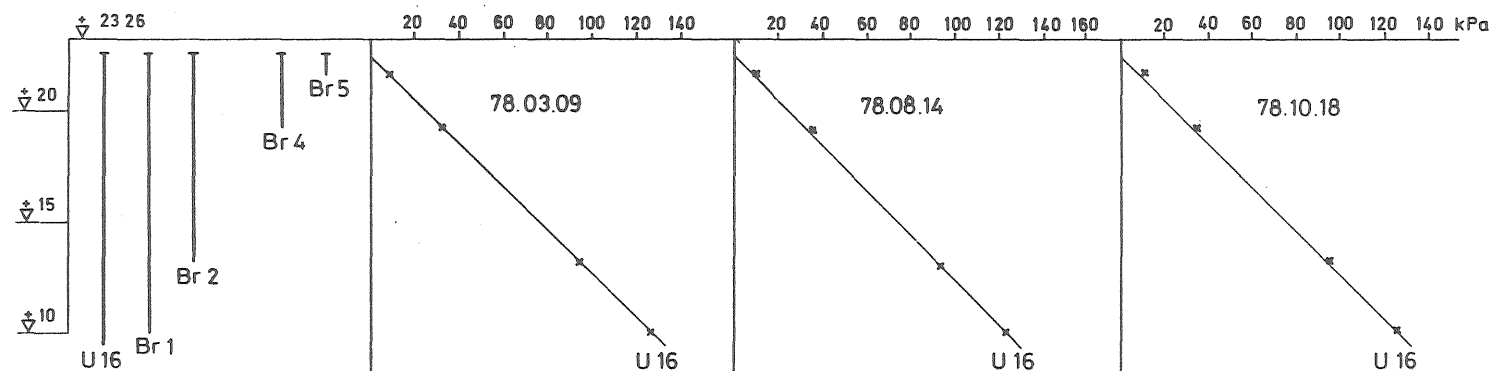
Kurvskaran har ca 0,50 m variation med årstiden. De högsta nivåerna infaller från mitten av juni till mitten av september, medan de lägsta nivåerna har registrerats under januari och februari. De registrerade portrycken är något lägre under 1978 än 1979.

Kurvskaran ligger väl samlad i början av mätserien. I slutet av mätserien glesar dock portryckskurvorna isär något, framför allt till följd av lägre portryck vid den djupast satta spetsen, Br 1. Man bör notera att grundvattennivån under sommar- och höstperioderna är lägre än portrycket. Man kan tolka diagrammet så att en svag påverkan av det lägre grundvattentrycket kan registreras i den allra undre delen av lerlagret och representeras av nedgången av Br 1 i slutet av mätperioden.

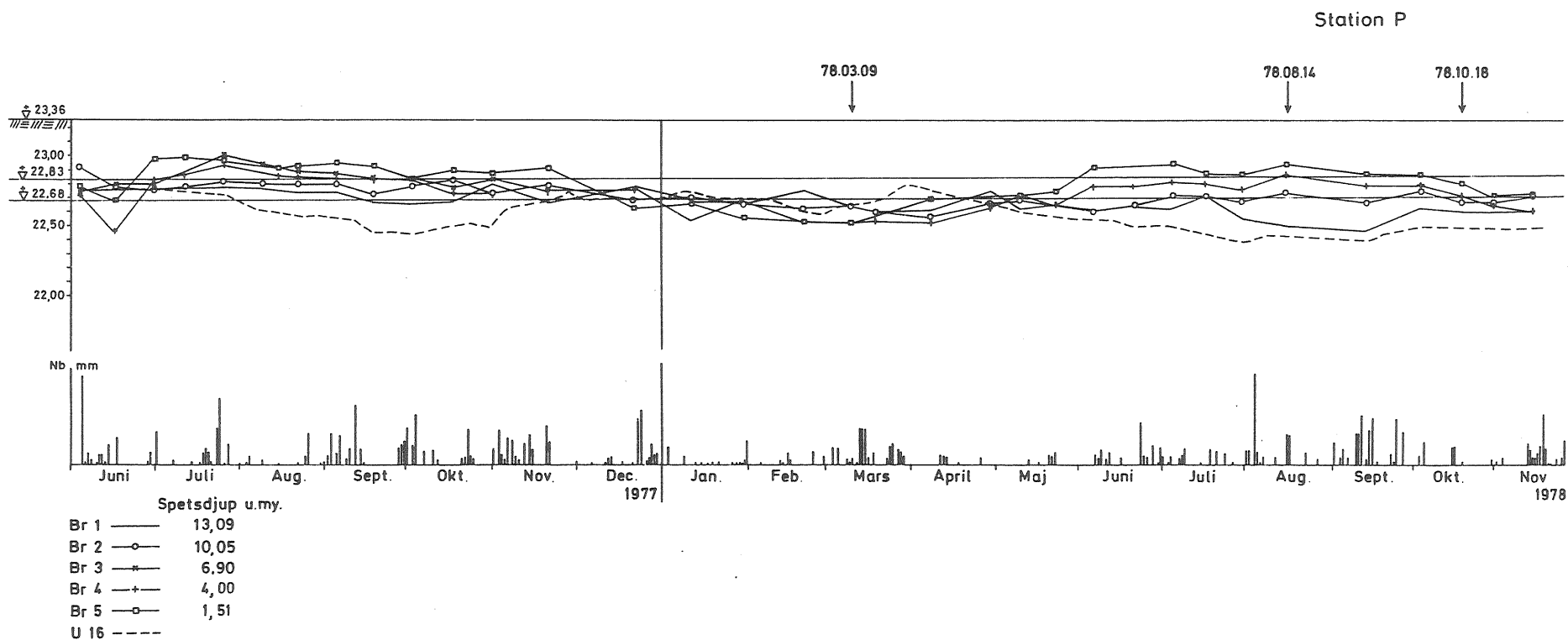
Under sommar- och höstmånaderna är portrycken i ytligare lager högre än intilliggande parkeringsmagasins bräddnivå. Det allmänna förhållandet att portrycket hålls väl uppe (förutom i lerlagrets underkant) tyder på god markinfiltration i lerans ytskikt. Det bedöms inte som uteslutet att en portryckshöjande effekt från parkeringsmagasinet kan nå ut till stationen (P) under perioder med magasinsnivåer över portrycksnivån.



Figur 6-6 Porvattentryckstation P, placering i plan, placering i höjd samt markprofil vid grundvattenrör U16. Par-keringsmagasinets bräddnivå har markerats.



Figur 6-7 Porvattentryckstation P, portrycksprofiler vid tre skilda tillfällen.



Figur 6-8

Porvattentryckstation P, portrycknivåns variationer med tiden. Pilarna anger tidpunkt för portrycksprofilerna i figur 6-7. De två horisontella linjerna anger parkeringsmagasinets bräddnivå och nivån för lägsta avtappningshållet i bräddningsröret. Nederst har dygnsnederbörden markerats.

I de tryckdiagram som uppritats följer portrycket mycket väl den hydrostatiska trycklinjen (grundvattenrör 16) vilket indikerar att i stort sett naturliga förhållanden råder i profilen.

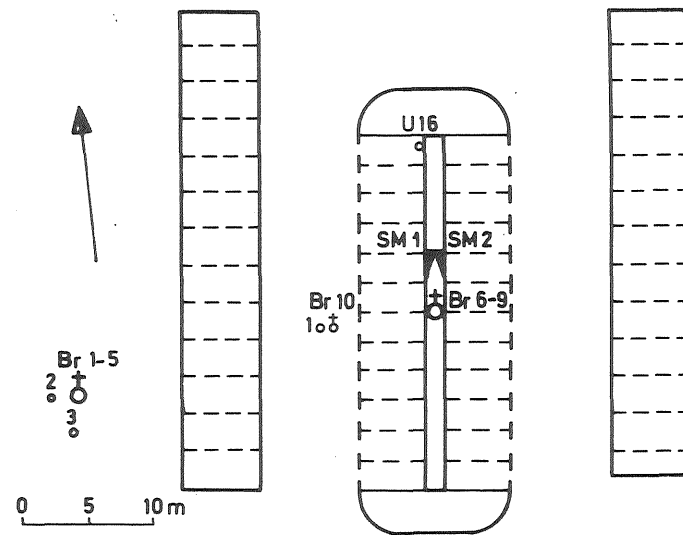
#### 4.2.2 Station M: spets 6-9

Mätarnas placering i plan framgår av figur 6-9. En markprofil, mätarnas placering i höjd samt portrycksprofiler från tre skilda tillfällen framgår av figur 6-10. Porvatten-trycknivåns variationer med tiden framgår av figur 6-11.

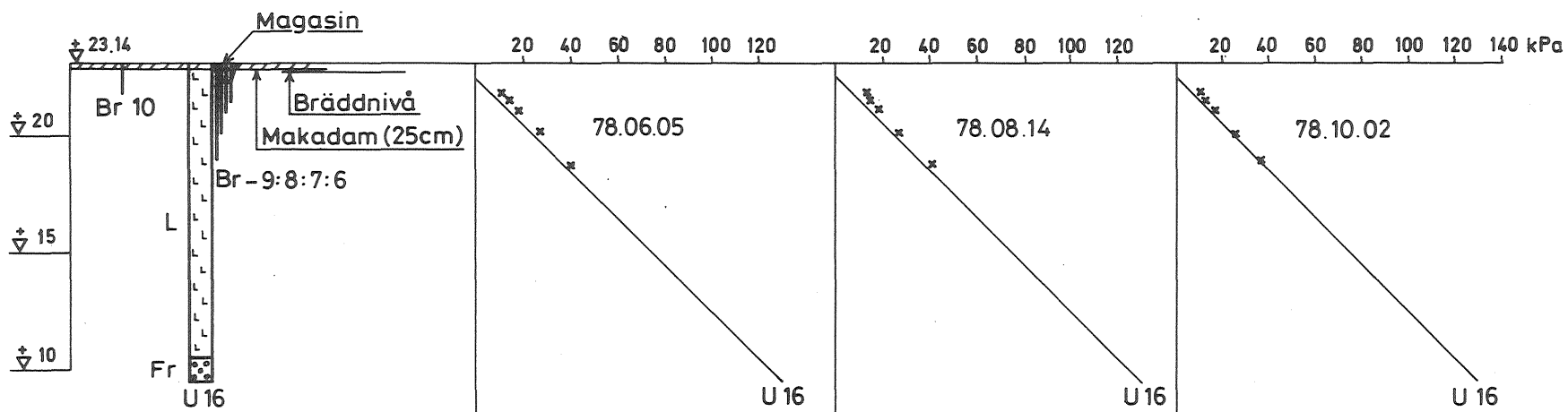
Portryckskurvorna för magasinsstationen (M) ligger mycket väl samlade under hela mätperioden. Under sommarmånaderna med högt portryck ligger kurvorna i eller strax under markytan men faller under vintern till omkring 0,7 m under markytan. De högsta nivåerna under 1978 ligger i medeltal ca 0,20 m lägre än motsvarande topp 1977. Detta kan tyda på en allmänt sjunkande trend hos portrycket. Med årstidsfluktuationer på 0,70 m är det dock inte möjligt att dra några säkra slutsatser på grundval av endast en och en halv årscykel. På samma sätt som station P är grundvattennivån under stora delar av året (vår - höst) lägre än lerans portryck i de övre lagren. I station M ses dock ingen tendens till att någon portrycksspets, ned till djupet 4,23 m, påverkats av det lägre grundvattenståndet. Denna station har dock ingen spets i lerans underkant.

Även station M uppvisar påfallande höga portrycknivåer i lerans övre delar. Detta gäller framför allt Br 10 som inte ingår i profilstationen utan är grunt satt vid sidan av magasinet.

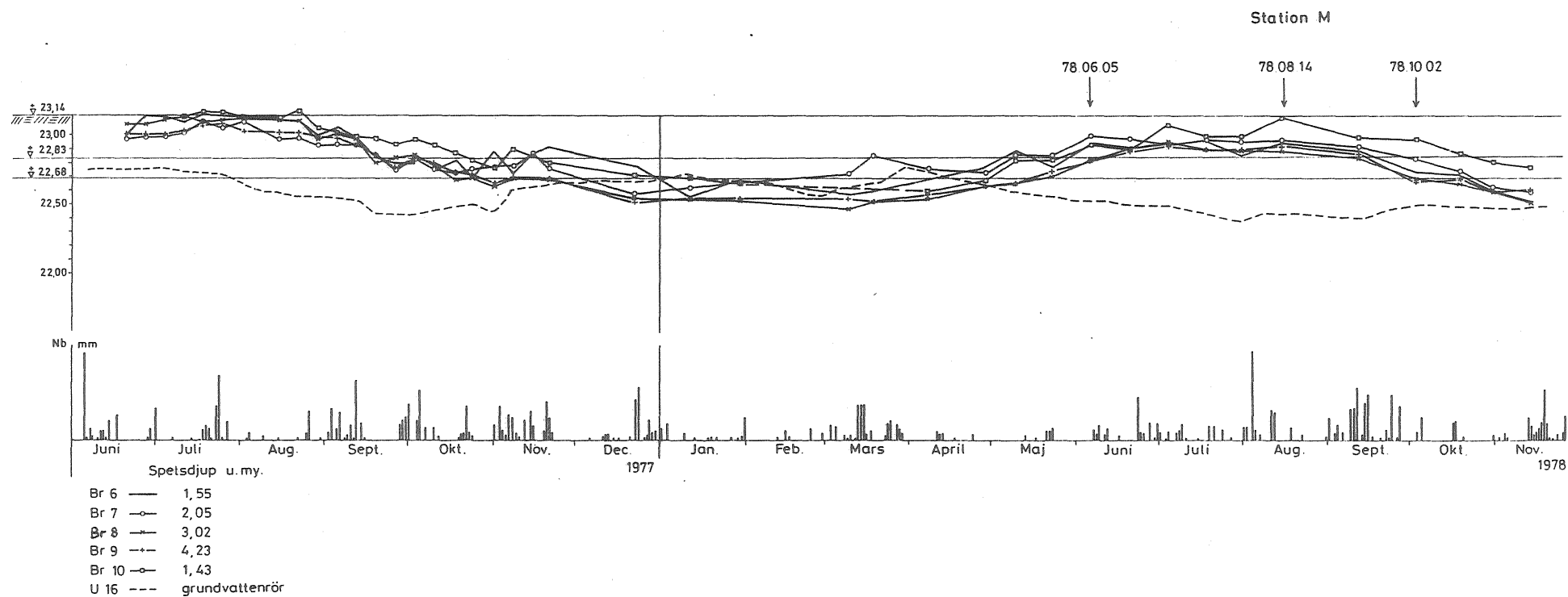
Portryckprofilerna visar, att portrycken ligger över den hydrostatiska trycklinjen räknat från grundvattentrycket. Observera dock att den grundaste spetsen, Br 10, är belägen en bit ifrån de övriga.



Figur 6-9 Porvattentryckstation M, placering i plan.



Figur 6-10 Porvattentryckstation M, mätarnas placering i höjd, markprofil vid grundvattenrör U16 samt portrycksprofiler vid tre skilda tillfällen. Parkeringsmagasinet's bräddnivå har markerats.



Figur 6-11 Porvattentryckstation M, portrycksnivåns variationer med tiden. Pilarna anger tidpunkt för portrycksprofilerna i figur 6-10. De två horisontella linjerna anger parkeringsmagasinets bräddnivå och nivån för lägsta avtappningshålet i bräddningsröret. Nederst har dygnsnederbörden markerats.



Mätresultaten tyder på god infiltration i lerans ytskikt vilket sannolikt bidrar till de höga portrycken. Vidare kan orsaken till det förhöjda portrycket vara dels perkolationsmagasinen dels effekten av bärlagrets tyngd på parkeringsplatsen. I det senare fallet kan man efter en tid också vänta sig sjunkande portryck, när porvattnet fördelas ut till de omgivande jordlagren. I det fallet borde alltså porövertrycket i stationen avta med tiden efterhand som

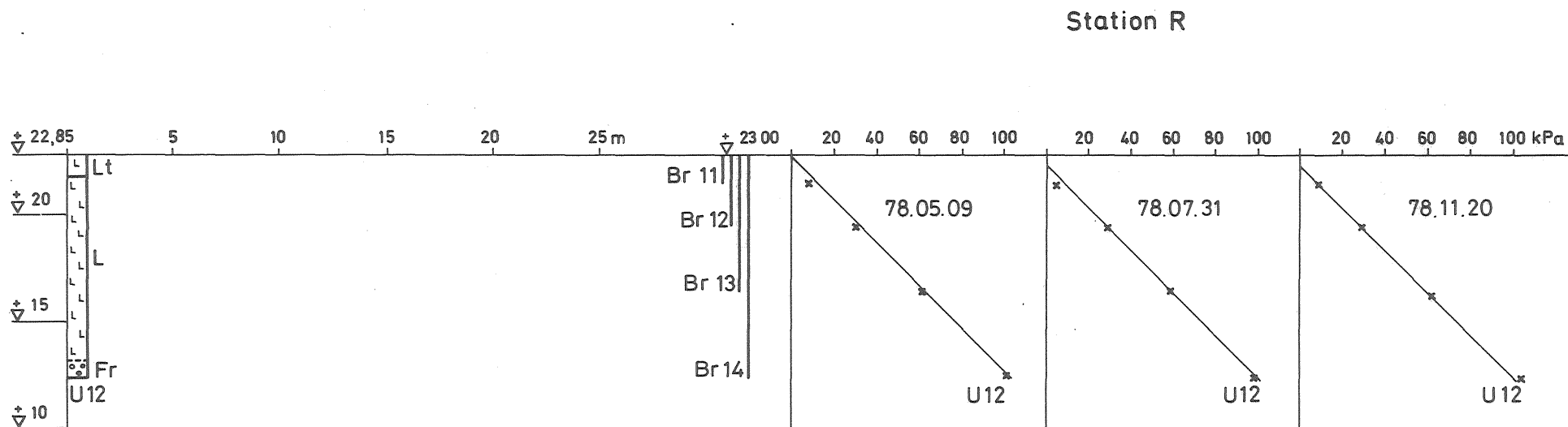
jämvikt inträder vid den nya lasten. Någon sådan reducering har dock ej kunnat konstateras. En orsak till detta kan vara att återhämtningseffekten motverkas av infiltration i lerans ytskikt. Sättningsutvecklingen pekar ej heller på några sjunkande portryck.

Under projektets gång har sjunkande grundvattentryck konstaterats, se bilaga 7. Portrycken reagerar med viss fördröjning på denna grundvattensänkning. Efterhand strävar dock portrycken i de undre lerlagren att sjunka och bilda jämvikt vid det lägre grundvattentrycket.

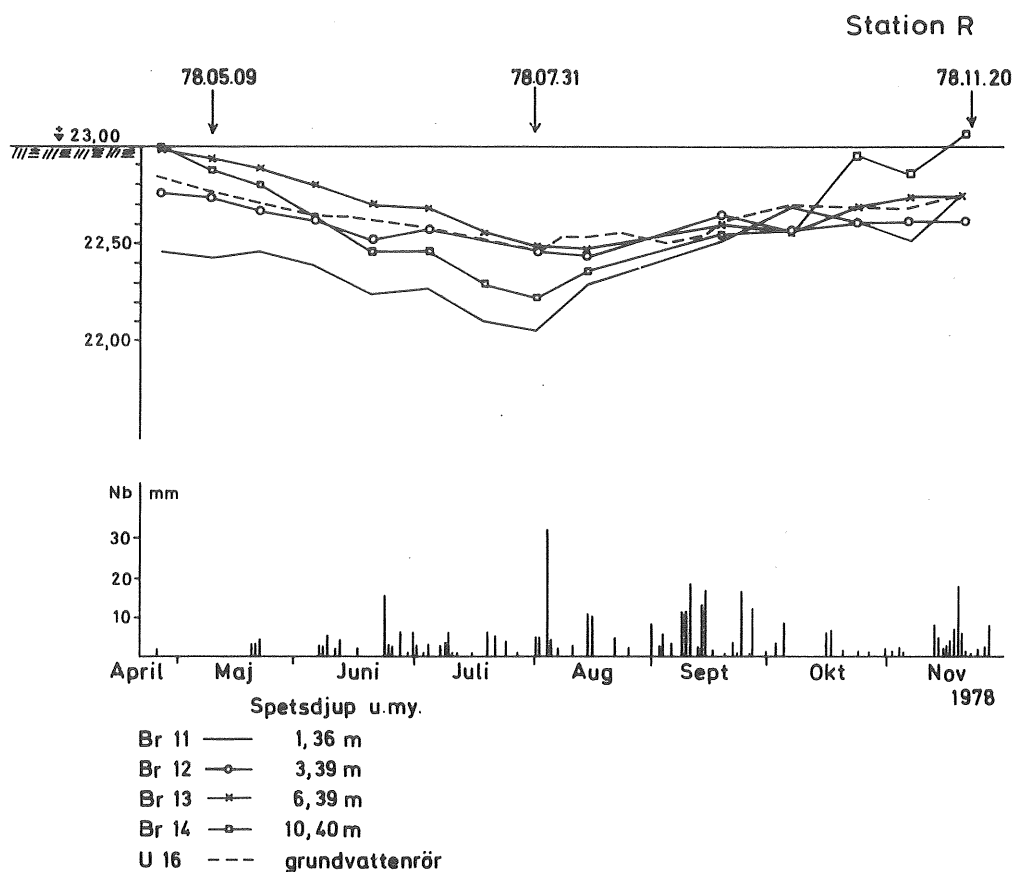
#### 4.2.3 Referensstation R: spets 11-14

En markprofil, mätarnas placering i höjd samt portrycksprofiler vid tre skilda tillfällen framgår av figur 6-12. Porvattentrycknivåns variationer med tiden framgår av figur 6-13.

Denna station uppvisar en något annorlunda bild än de två övriga. Portryckskurvorna är till en början tämligen separerade men samlar sig tätare ihop under september och oktober månader. Årstidsfluktuationen tycks uppgå till omkring 0,60 m, vilket är i samma storleksordning som för de båda andra stationerna. Inom referensstationen fluktuerar dock portrycket i fas med grundvattnet. Någon avsänkningstrend i portrycket kan inte ses under mätperioden och allt tyder på att jordprofilen är opåverkad, vilket också stöds av tryckdiagrammen.



Figur 6-12 Porvattentryckstation R, markprofil vid grundvattenrör U12, mätarnas placering i höjd samt portrycksprofiler vid tre skilda tillfällen.



*Figur 6-13* Porvattentryckstation R, portrycknivåns variationer med tiden. Pilarna anger tidpunkt för portrycksprofilerna i *figur 6-12*. Nederst har dygnsnederbörden markerats.

#### 4.3 Sättningsmätare

De olika höjdbestämningarna av sättningsmätarna (i Göteborgs höjdsystem) har sammanställts i tabellen.

Datum	78.06.01	78.06.19	78.07.25	78.07.27	78.09.06	79.03.08
SM 1	22,676	22,688	22,668	22,673	22,678	22,740
SM 2	22,700	22,701	22,693	22,698	22,703	22,708
SM 3	23,761	23,761	23,746	23,760	23,776	23,764
SM 4	23,039	23,038	23,038	—	23,038	23,114
SM 5	23,405	23,371	23,380	23,383	23,381	23,379

## 5 UTVÄRDERING OCH SAMMANFATTNING

De utförda portrycksmätningarna i Bratthammar ger vid handen, att lerans portryck varierar med årstidernas nederbördsvariationer. Variationerna är likartade för samtliga spetsar inom respektive station, dvs från ca 1,5 m under markytan till mera än 10 m under markytan. I några fall (t ex station M september och oktober 1977) kan man se portrycket reagera relativt momentant på kortare nederbördsperioder, i övrigt dominerar de storskaligare årstidsfluktuationerna.

Portryckprofilerna visar, att portrycket vid stationerna P och R i stort sett följer den hydrostatiska trycklinjen. Vid station M har portryck över den hydrostatiska trycklinjen registrerats i ytliga lager. Detta, gentemot grundvattentrycket, förhöjda portryck har flera orsaker. En orsak kan vara effekten av bärlagrets tyngd. I de understa lerlagren kan en bidragande orsak också vara det sjunkande grundvattentryck, som registrerats under projektets gång. Det bedöms att även perkolationsmagasinen har effekt på portrycket. Att leran under så lång tid som mätperioden sträcker sig över kan bibehålla ett porvattentryck över den hydrostatiska trycklinjen antyder allmänt god infiltration i lerans ytskikt. De genomförda mätningarna anger att magasinens mätbara påverkan på porvattentrycket endast sträcker sig några meter ut från magasinssidorna. Det är dock inte uteslutet att perkolationsmagasinen under vissa perioder kan ha stabiliserande effekt på portrycken flera tiotal meter ut från magasinerna.

I stort sett har lägre portryck registrerats under 1978 än 1977 i station P och M. Man kan tolka diagrammen så att portryckssänkningen under mätperioden uppgår till ca 0,15 m vid station P och ca 0,20 m vid station M. Det påpekas dock att trenderna är mycket små och med tanke på den korta mätserien relativt osäkra. En orsak till den sjunkande trenden kan vara långsam återhämtning efter påförd last (bärlager - hus). Hela denna effekt är idag inte möjlig att värdera

eftersom förhållandena före lastens påförande inte är kända. Effekten av den sjunkande grundvattenytan sträcker sig ännu endast en liten bit upp från lerlagrets underkant och torde inte ha åstadkommit de sjunkande trenderna.

Om en avsänkning av portrycken i ovanstående storleksordning har inträffat, motsvaras de av så små sättningar att de ej är märkbara utan kan ingå i markytans normala fluktuation. Av de avvägningar som gjorts av de utplacerade sättningsmätarna kan inte någon tendens till sättningar utläsas.

BILAGA 7.

SID

## GRUNDVATTENMÄTNINGAR

Innehåll

1.	SYFTE	160
2.	OBSERVATIONSNÄT	160
3.	BEARBETNING AV OBSERVATIONSDATA	165
4.	RESULTAT	165
5.	UTVÄRDERING OCH SAMMANFATTNING	167
6.	REFERENSER	172

## 1

## SYFTE

Grundvattenmagasinet är en av de betydelsefullaste faktorerna för vattenbalansen inom ett område. Förändringar av grundvattenförhållandena kan ge negativa effekter som sättningar i lerområden och skador på vegetationen. Erfarenheter visar att urbanisering av naturmark ofta leder till allmän sänkning av grundvattennivån. Skador till följd av detta har uppstått på många ställen och är väl kända.

Ett av syftena med LOD är att motverka grundvattensänkning vid byggande. I Bratthammar finns det viktigaste grundvattenmagasinet i friktionsmaterial under leran i dalgången. Dagvatteninfiltration förväntas därför inte nämnvärt kunna påverka grundvattenförhållandena i detta magasin.

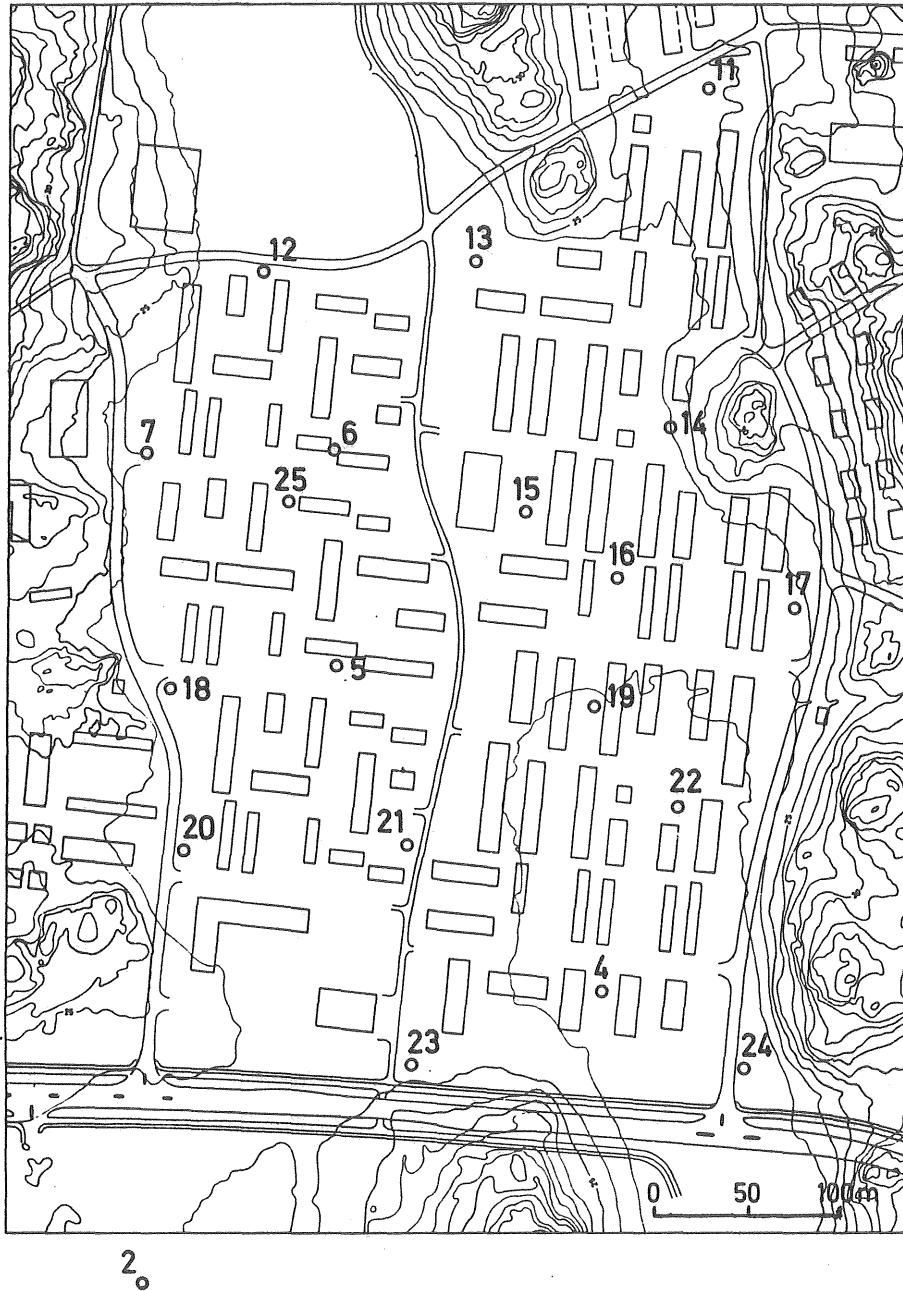
Observationer av grundvattenförhållandena erfordrades i Bratthammar av flera skäl. Viktigast var att följa eventuell inverkan av områdets bebyggande. Det var givetvis också väsentligt att se om dagvatteninfiltration kunde få någon effekt på grundvattenförhållandena.

Med grundvatten avses i denna bilaga enbart vattnet i friktionsmaterial under leran. Vattnet i lerans torrskorpa behandlas i bilaga 4: Sprickvattenmätningar.

## 2

## OBSERVATIONSNÄT

Grundvattennivån observeras inom Bratthammarområdet i ett flertal observationsrör, se figur 7-1. Dessa har utförts i flera omgångar, med varierande metoder och med varierande rörtyper. Gemensamt för samtliga här beskrivna rör är emellertid att avsikten varit att driva rören till friktionsmaterialet under leran. Det är dock svårt att i efterhand säkert avgöra om rören verkligen når ner i friktionsmaterialet.



Figur 7-1 Karta över Bratthammarområdet med grundvatten-observationsrörens lägen.

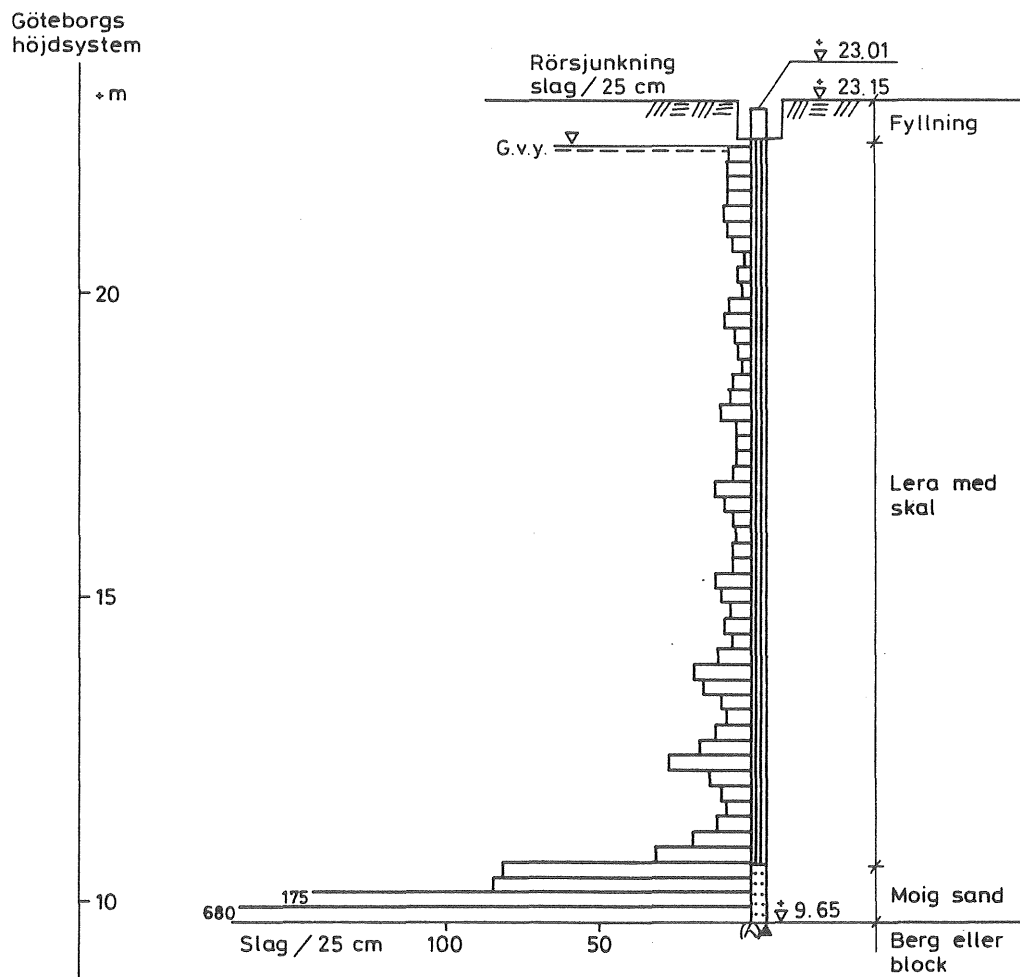
De första observationsrören 2, 4, 5, 6 och 7 sattes under 1975 och 1976 av Bo Alte AB med hydraulisk utrustning. Rören är 3/4" järnrör med öppen spets och utan sil eller perforering i den nedre delen. Rören har pressats ned genom leran och sedan spolats ur.

I samband med att undersökningarna inom LOD-projektet startades kompletterades observationsnätet med rören



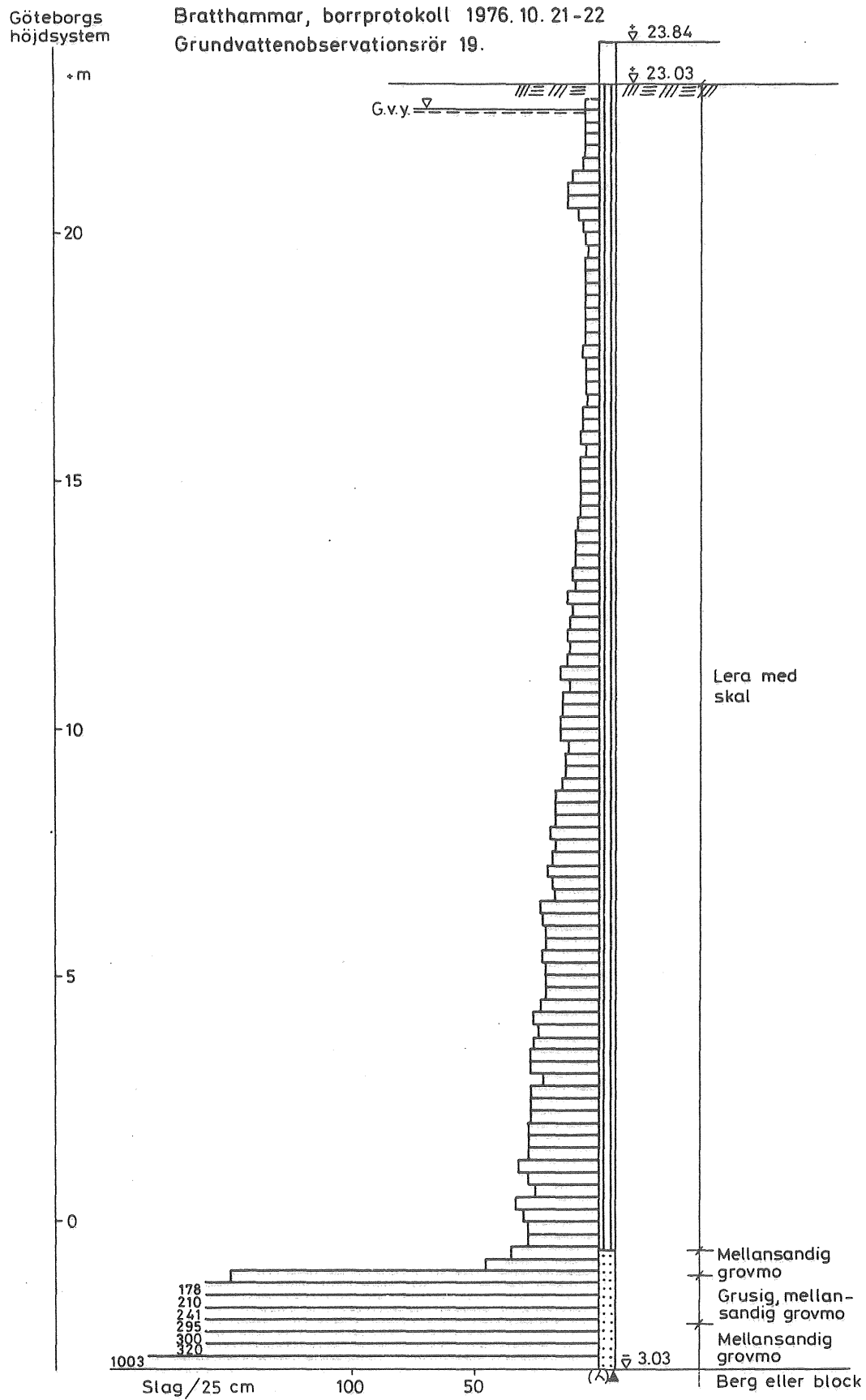
11-15, 17, 18 och 20-24. Dessa rör sattes hösten 1976 av Göteborgs Gatukontor med hydraulisk utrustning. Rören är av typ Geotech, 2" järnrör med en 60 cm lång silen perforerad med 3 mm hål. Silen är fylld med en sandplastmassa och försedd med spets bestående av en metallkon. Rören drivs vattenfyllda för att vattentrycket skall förhindra igensättning av silen, t ex genom inträngning av lera.

Bratthammar, borrprotokoll 1976.10.20.  
Grundvattenobservationsrör 16.



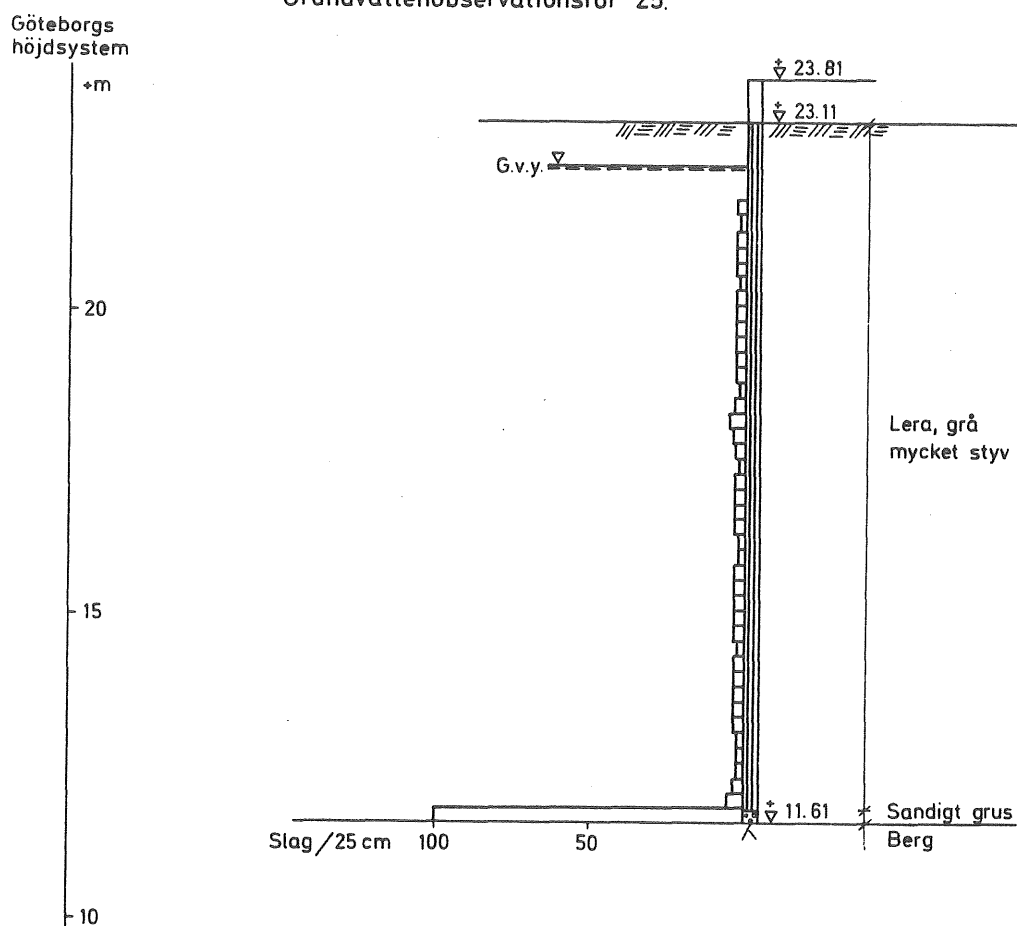
Figur 7-2 Rördrivningsprotokoll, grundvattenrör 16.

Rören 16, 19 och 25 har satts av Geohydrologiska forskningsgruppen med hjälp av 60 kg frifallshejare. Rören 16 och 19 sattes i oktober 1976 för att noggrannare information om jordartsförhållanden m m skulle erhållas vid de magasin som skulle specialstuderas. Rör 25 sattes i april 1978 för att ersätta rör 6 som bortfallit



Figur 7-3 Rördrivningsprotokoll, grundvattenrör 19.

Bratthammar, borrprotokoll 1978. 04.10  
Grundvattenobservationsrör 25.



Figur 7-4 Rördrivningsprotokoll, grundvattenrör 25.

genom byggnadsarbetena. Rören är 2" s k röda rör med öppen spets och sil bestående av perforering med 2,5 mm hål på den nedersta metern. Under rördrivningen har jordmaterialet successivt spolats upp och jordprover har tagits på olika nivåer. Vidare har neddrivningsmotståndet observerats. Data erhållna vid drivningen av rören 16, 19 och 25 redovisas i figur 7-2, 7-3 och 7-4.

För att förbättra och kontrollera rörens funktion tryckspolades samtliga rör i april 1978. Återhämtningsförloppen efter påfyllning av vatten visar att samtliga rör utom 14 och 20 kommunicerar någorlunda väl med akviferen. Rör 14 uppvisar ett mycket långsamt reaktionsförlopp. Efter spolningen krävdes två månader för återhämtning. Röret bedöms dock ge en någorlunda bild av grundvattennivåns trend över längre tidsperioder. Rör

20 däremot behövde nära fem månader för att ställa in sig på ursprungsnivån efter spolning. Detta rör har därför ej beaktats vid utvärderingen av grundvattennivåobservationerna. Sammanfattningsvis verkar det som om de av Geohydrologiska forskningsgruppen satta rören 16, 19 och 25 fungerar bäst. Detta antyder att den "primitiva" metoden att sätta öppna rör med sil med hjälp av frifallshejare och urspolning med vatten ger de tillförlitligaste observationspunkterna. Metoden är dock tämligen arbetskrävande och långsam.

### 3 BEARBETNING AV OBSERVATIONSDATA

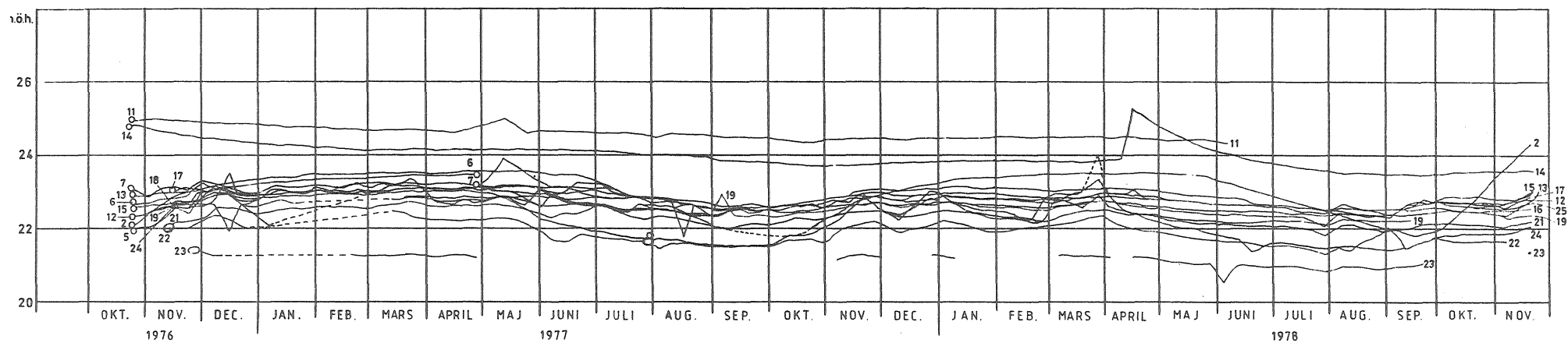
Grundvattenrören avlästes kontinuerligt från juni 1976. Till en början gjordes avläsningar två gånger per vecka. Efter hand som observationsnätet gjorts tätare har mätningarna övergått till en gång per vecka. De kontinuerliga avläsningarna avbröts i november 1978.

Ett datorprogram som tidigare framtagits inom Geohydrologiska forskningsgruppen (Hellgren, 1974) har omarbetats att gälla för Bratthammar. Programmet är skrivet i BASIC och har körts i en minidator, HP93. Programmet är utformat så, att man slår in avlästa värden och får då direkt ut grundvattennivåer. Programmet kan också utföra strömbildskartor och fluktuationsdiagram över ett år.

Vid databearbetningen har fluktuationsdiagram uppritats för alla rör över hela mätperioden och strömbildskartor för 15 avläsningstillfällen.

### 4 RESULTAT

Av den redovisade kurvskaran, figur 7-5, framgår att grundvattnets trycknivå i stort sett har en sjunkande tendens under mätperioden. Kurvorna kan tolkas så att grundvattentrycket i genomsnitt sjunkit med 0,6 - 0,7 m. Kraftigt avvikande kast i kurvornas förlopp hänförs sig troligen till mätfel.



Figur 7-5 Fluktuationsdiagram för samtliga grundvattennivåobservationer i Bratthammar. I stort sett kan en sjunkande tendens konstateras under mätperioden.

Grundvattnet uppvisar i stort sett normala årstidsvariationer med högre grundvattenstånd på senhösten och ett maximum i månadsskiftet mars-april. Man kan se att rör belägna centralt i dalgången uppvisar ett jämnare förlopp med mindre variationer än rör belägna närmare dalsidorna. Rör närmare dalsidorna svarar i allmänhet väl på varje nederbördsperiod medan de centralt belägna rören huvudsakligen återspeglar nederbördens långsiktigare årsvariationer.

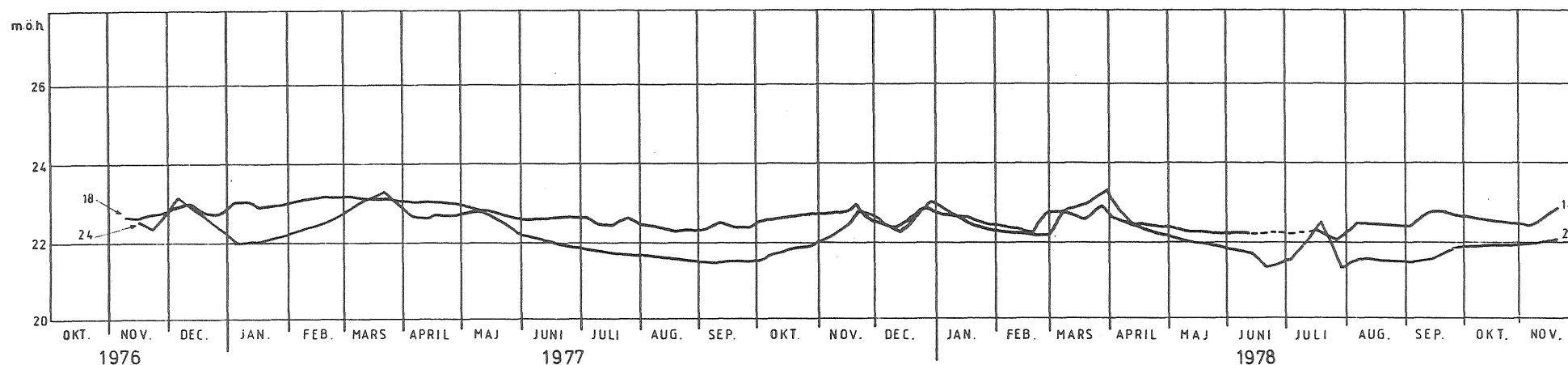
Som exempel på de båda typerna av reaktioner redovisas rör nr 18 och 24 som representanter för dalsidornas rör och nr 15 och 19 som representanter för de centrala rören, se figur 7-6 och 7-7.

Två kartor över grundvattnets strömning redovisas, se figur 7-8 och 7-9. Kartan 77.04.25 representerar ett tillfälle med hög grundvattennivå och 78.09.20 visar ett tillfälle med mera normal grundvattennivå. Man ser att grundvattnet vid båda tillfällena strömmar norrifrån och från dalsidorna ner mot en lågpunkt vid rör 23. Vidare framgår att det vid högt grundvattenstånd utbildas en grundvattendelare i nordvästra hörnet av området. Ytvattendelaren ligger strax norr om kartbilden. Vid andra observationstillfällen antyds att dräneringen från lågpunkten fortsätter vidare åt söder, genom dalgången. Denna väg gick också områdets naturliga ytavrinning via en bäck.

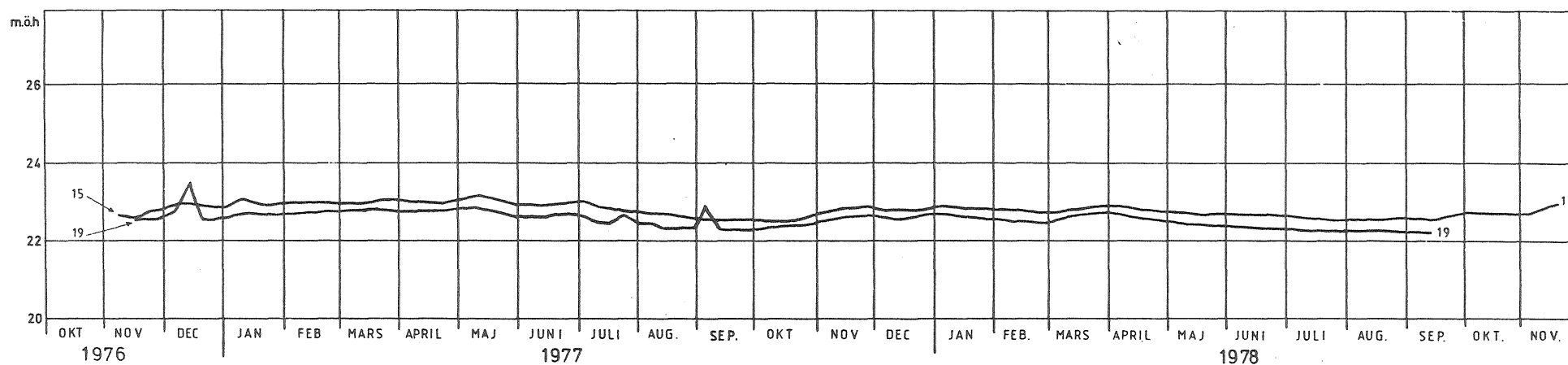
## 5                   UTVÄRDERING OCH SAMMANFATTNING

Under leran i Bratthammardalgången har påvisats en välutbildad sluten akvifer i friktionsmaterial. Grundvattenstryckytan i denna akvifer ligger i allmänhet nära markytan.

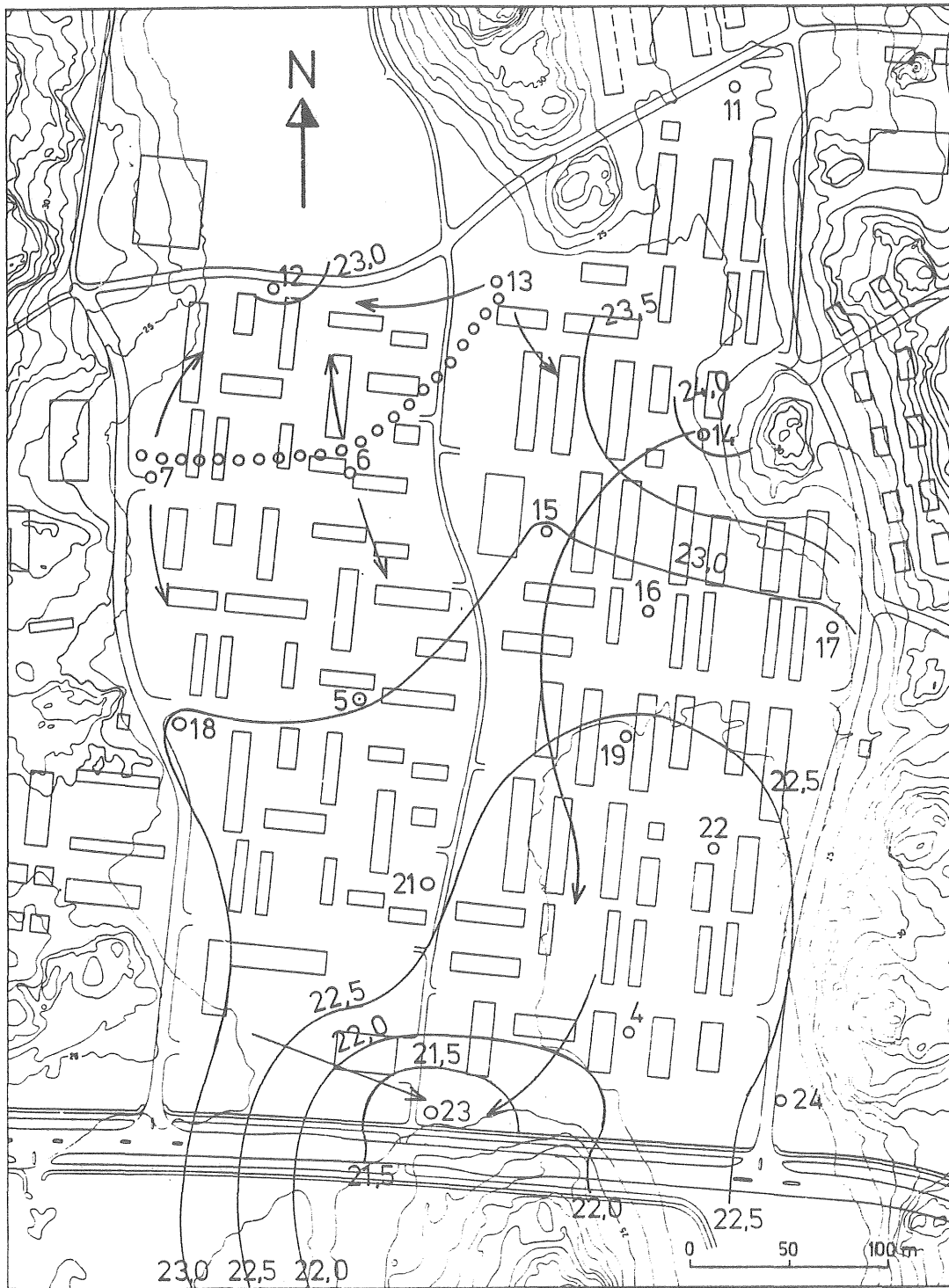
Grundvattnet strömmar norrifrån och från dalsidorna mot en lågpunkt vid rör 23. Röret ligger nära den kulvert som här löper i anslutning till vägen. Troligen dräne-



Figur 7-6 Fluktuationsdiagram för grundvattennivån i rören 18 och 24. Rören är belägna nära dalsidan och reagerar tydligt vid varje nederbördsperiod.



Figur 7-7 Fluktuationsdiagram för grundvattennivån i rören 15 och 19. Rören är belägna centralt i dalgången och uppvisar ett utjämnat förlopp utan påverkan av kortare nederbördsperioder.



20

Figur 7-8

Grundvattennivå och grundvattnets strömning i Bratt-  
hammar 1977-04-25. Exempel på förhållandena vid hög  
grundvattennivå.





20

Figur 7-9. Grundvattennivå och grundvattnets strömning i Bratt-hammar 1978-09-20. Exempel på förhållandena vid medelhög grundvattennivå.

ras grundvattnet delvis bort via kulverten och delvis vidare genom dalgången mot sydost.

Genomförda grundvattennivåmätningar visar att grundvattnets trycknivå i Bratthammar i medeltal sjunkit ca 0,6 m under perioden augusti 1976 till november 1978. Inget i mätresultaten tyder på att dagvatteninfiltrationen i perkolationsmagasinen har påverkat grundvattennivån i friktionsmaterialet. Detta kan inte heller förväntas eftersom magasinerna ligger ovanpå mäktiga lerlager.

I Göteborgsområdet finns tre referensområden för grundvattennivåfluktuationer, det s k grundvattenkorset (Lindskoug och Nilsson, 1974). Områdena har valts ut för att representera de jordartsgeologiska huvudtyperna i regionen. Den geologiska miljö som Bratthammar uppvisar representeras av Harestadsområdet, ca 17 km nordväst om Göteborgs centrum. Varken i detta eller något av de två övriga referensområdena kan någon tendens till grundvattensänkning, liknande den i Bratthammar, konstateras. Man kan dra den slutsatsen att någon regional grundvattensänkning inte skett under mätperioden.

Nederbörden har i Bratthammar huvudsakligen legat över den normala under mätperioden.

Infiltrationen till grundvattenmagasinet i friktionsmaterialet under leran sker huvudsakligen från dalsidorna. Den naturliga infiltrationen har nu delvis skurits av genom byggande av hus, vägar m m utmed dalsidorna. Grundvattensänkningen får till huvuddelen tillskrivas denna minskade infiltration genom blockering av infiltrationszonerna i kombination med dränering via kulverten i södra delen av området.

Hellgren L-G, 1974. Programpaket för lagring och bearbetning av grundvattenobservationer. Geologiska institutionen CTH/GU, publ D21.

Lindskoug N-E, Nilsson L-Y, 1974. Grundvatten och byggande. Byggforskningen. Rapport R20:1974.

